

目 录

1 MPLS TE	1-1
1.1 MPLS TE简介	1-1
1.1.1 流量工程与MPLS TE	1-1
1.1.2 MPLS TE的基本概念	1-1
1.1.3 静态建立CRLSP	1-2
1.1.4 动态建立CRLSP	1-2
1.1.5 采用PCE计算的路径建立CRLSP	1-3
1.1.6 流量转发	1-5
1.1.7 make-before-break	1-6
1.1.8 路由固定	1-7
1.1.9 隧道重优化	1-7
1.1.10 CRLSP备份	1-7
1.1.11 快速重路由	1-8
1.1.12 DiffServ-Aware TE	1-9
1.1.13 MPLS TE双向隧道	1-11
1.1.14 CBTS	1-12
1.1.15 协议规范	1-13
1.2 MPLS TE配置任务简介	1-14
1.2.1 静态建立CRLSP	1-14
1.2.2 动态建立CRLSP	1-14
1.2.3 采用PCE计算的路径建立CRLSP	1-15
1.3 MPLS TE配置准备	1-17
1.4 开启MPLS TE能力	1-17
1.5 配置Tunnel接口	1-17
1.6 配置DiffServ-Aware TE	1-18
1.7 配置MPLS TE隧道采用静态CRLSP	1-19
1.8 配置链路的MPLS TE属性	1-19
1.9 配置通过IGP的TE扩展发布链路的MPLS TE属性	1-20
1.9.1 功能简介	1-20
1.9.2 配置限制和指导	1-20
1.9.3 配置OSPF TE	1-20
1.9.4 配置IS-IS TE	1-21
1.10 配置MPLS TE隧道的约束条件	1-22

1.10.1	配置MPLS TE隧道的带宽要求.....	1-22
1.10.2	配置MPLS TE隧道的亲和属性.....	1-22
1.10.3	配置MPLS TE隧道的建立优先级和保持优先级.....	1-22
1.10.4	配置显式路径	1-23
1.11	使用RSVP-TE建立MPLS TE隧道	1-23
1.12	调整CRLSP的路径选择	1-24
1.12.1	功能简介	1-24
1.12.2	配置限制和指导	1-24
1.12.3	配置选路使用的度量	1-24
1.12.4	配置路由固定	1-25
1.12.5	配置隧道重优化	1-26
1.12.6	配置TE信息泛洪阈值及泛洪时间间隔.....	1-26
1.13	调整MPLS TE隧道的建立	1-27
1.13.1	功能简介	1-27
1.13.2	配置限制和指导	1-27
1.13.3	配置环路检测	1-27
1.13.4	配置记录路由和标签	1-27
1.13.5	配置隧道重建	1-28
1.13.6	配置RSVP资源预留风格	1-28
1.14	配置MPLS TE隧道采用PCE计算的路径建立CRLSP	1-29
1.14.1	配置PCE	1-29
1.14.2	配置PCE发现.....	1-29
1.14.3	配置使用PCE计算路径	1-29
1.14.4	配置PCEP会话参数	1-30
1.15	配置流量转发.....	1-30
1.15.1	配置静态路由使流量沿MPLS TE隧道转发.....	1-30
1.15.2	配置策略路由使流量沿MPLS TE隧道转发.....	1-31
1.15.3	配置自动路由发布使流量沿MPLS TE隧道转发.....	1-32
1.16	配置MPLS TE双向隧道	1-33
1.17	配置CRLSP备份	1-34
1.17.1	功能简介	1-34
1.17.2	配置RSVP TE方式建立备份路径.....	1-34
1.17.3	配置使用PCE计算备份路径	1-35
1.18	配置MPLS TE快速重路由	1-35
1.18.1	配置限制和指导	1-35
1.18.2	开启快速重路由功能	1-35

1.18.3 在PLR上配置Bypass隧道.....	1-36
1.18.4 配置节点故障检测	1-38
1.18.5 配置快速重路由的Bypass隧道优选时间间隔.....	1-39
1.19 配置CBTS	1-39
1.20 开启告警功能.....	1-39
1.21 MPLS TE显示和维护	1-40
1.22 MPLS TE典型配置举例	1-41
1.22.1 使用静态CRLSP配置MPLS TE隧道示例.....	1-41
1.22.2 使用RSVP-TE配置MPLS TE隧道示例.....	1-46
1.22.3 使用RSVP-TE配置跨域的MPLS TE隧道示例.....	1-52
1.22.4 使用PCE计算的路径建立跨区域的MPLS TE隧道示例.....	1-59
1.22.5 配置MPLS TE双向隧道示例	1-63
1.22.6 配置CRLSP备份示例	1-70
1.22.7 配置快速重路由示例（手工配置Bypass隧道）	1-74
1.22.8 配置自动快速重路由示例	1-80
1.22.9 配置IETF DS-TE模式MPLS TE隧道示例	1-87
1.22.10 配置CBTS示例.....	1-93
1.23 MPLS TE常见故障处理	1-97
1.23.1 不能产生TE LSA.....	1-97

1 MPLS TE

1.1 MPLS TE简介

1.1.1 流量工程与MPLS TE

网络拥塞是影响骨干网络性能的主要问题。拥塞的原因可能是网络资源不足，也可能是网络资源负载不均衡导致的局部拥塞。TE（Traffic Engineering，流量工程）可以用来解决负载不均衡导致的拥塞问题。

流量工程通过实时监控网络的流量和网络单元的负载，动态调整流量管理参数、路由参数和资源约束参数等，使网络运行状态迁移到理想状态，优化网络资源的使用，避免负载不均衡导致的拥塞。

MPLS TE 结合了 MPLS 技术与流量工程，通过建立沿着指定路径的 LSP 隧道进行资源预留，使网络流量绕开拥塞节点，达到平衡网络流量的目的。

MPLS TE 是一种可扩展性好、简单的流量工程解决方案，受到了服务提供商的青睐。通过 MPLS TE 技术，服务提供商能够在已有的 MPLS 骨干网上简单地部署流量工程，充分利用现有的网络资源提供多样化的服务，同时可以优化网络资源，并进行科学的网络管理。

1.1.2 MPLS TE的基本概念

1. CRLSP

CRLSP（Constraint-based Routed Label Switched Paths，基于约束路由的 LSP）是基于一定约束条件建立的 LSP。与普通 LSP 不同，CRLSP 的建立不仅依赖路由信息，还需要满足其他一些条件，比如带宽需求、显式路径等。

MPLS TE 可以通过静态方式、动态方式或 PCE 方式建立 CRLSP。

2. SRLSP

SRLSP（Segment Routing Label Switched Path，基于段路由的 LSP）是指在 MPLS SR 网络中以 MPLS 标签作为 SID（Segment Identifier，段标识）对报文进行段路由转发，报文所经过的路径称为 SRLSP。SRLSP 可以手工配置，也可以通过控制器下发。关于 SRLSP 的配置请参见“Segment Routing 配置指导”中的“MPLS SR”。

3. MPLS TE隧道

MPLS TE 隧道是从头节点到目的节点的一条虚拟点到点连接。通常情况下，MPLS TE 隧道由一条 CRLSP 或 SRLSP 构成。在部署转发路径备份或需要将流量通过多条路径传输等情况下，需要为同一种流量建立多条 CRLSP 或 SRLSP，在这种情况下，MPLS TE 隧道由一组 CRLSP 或 SRLSP 构成。

头节点上 MPLS TE 隧道由 MPLS TE 模式的 Tunnel 接口标识。当流量的出接口为 Tunnel 接口时，该流量将通过构成 MPLS TE 隧道的 CRLSP 或 SRLSP 来转发。关于 MPLS TE 隧道采用 SRLSP 的配置请参见“Segment Routing 配置指导”中的“MPLS SR”。

1.1.3 静态建立CRLSP

静态建立 CRLSP 是指在流量经过的每一跳设备上（包括 Ingress、Transit 和 Egress）分别手工指定入标签、出标签、流量所需的带宽等信息，从而建立满足约束条件的 CRLSP。该方式的优点是配置简单，缺点是不能根据网络的变化动态调整建立的 CRLSP。

静态 CRLSP 的详细介绍，请参见“MPLS 配置指导”中的“静态 CRLSP”。

1.1.4 动态建立CRLSP

动态建立 CRLSP 是指根据链路状态信息计算出路径后，通过标签分发协议（如 RSVP-TE）通告标签，并在经过的节点上为流量预留所需的带宽资源，从而建立满足约束条件的 CRLSP。该方式的优点是能根据网络的变化动态调整建立的 CRLSP，且支持 CRLSP 备份、快速重路由等功能，缺点是配置复杂。

采用动态方式建立 CRLSP 时，MPLS TE 需要实现如下功能：

- 发布包含链路 TE 属性的信息，以便根据这些信息选择满足约束条件的路径。
- 计算出到达某个节点的满足 TE 属性要求的最短路径。
- 通过标签分发协议沿着计算出的路径建立 CRLSP，并预留资源。

1. 发布TE属性

MPLS TE 通过对现有的使用链路状态算法的 IGP 协议（如 OSPF 和 IS-IS）进行扩展来发布每条链路的 TE 相关属性，如链路的最大带宽、链路的最大可预留带宽、每个优先级的未被预留带宽、链路属性等。这些信息通过 IGP 协议在网络上泛洪。每台设备收集本区域或本级别所有设备上每条链路的 TE 相关信息，生成 TEDB（TE DataBase，流量工程数据库）。

2. 计算路径

MPLS TE 使用 CSPF（Constraint-based Shortest Path First，基于约束的最短路径优先）算法，根据通过 IS-IS 或 OSPF 扩展产生的 TEDB，计算出到达某个节点的符合带宽、亲和属性、建立/保持优先级、显式路径等约束条件的最短路径。

CSPF 是一种改进的 SPF（Shortest Path First，最短路径优先）算法。CSPF 的计算过程就是针对 MPLS TE 隧道的要求，先对 TEDB 中的链路进行剪切，把不满足 TE 属性要求的链路剪掉；再采用 SPF 算法，寻找一条到 Egress 节点的满足 TE 属性要求的最短路径（即一组 LSR 地址）。

CSPF 计算的结果是一条满足约束条件的完全明确的路径，通常只在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点进行 CSPF 计算。

MPLS TE 隧道的约束条件需要在 Ingress 节点上配置，约束条件包括：

- 带宽
带宽要求是指经过 MPLS TE 隧道的流量所属的服务类型及其所需的带宽。只有链路上针对流量所属服务类型的可预留带宽大于等于流量所需带宽时，该链路才满足带宽约束条件。

- 亲和属性

MPLS TE 隧道的亲和属性和链路的属性配合，决定了该隧道可以使用哪些链路。

链路属性、亲和属性的掩码都是 32 位的二进制数。如果希望某条链路能够被隧道所用，则需要满足如下要求：

- 对于掩码为 1 的位，亲和属性为 1 的位中链路属性至少有 1 位也为 1，亲和属性为 0 的位对应的链路属性位不能为 1。

- 对于掩码为 0 的位，不对链路属性的相应位进行检查。

例如，亲和属性为 0xFFFFFFFF0，掩码为 0x0000FFFF，则可用链路的链路属性高 16 位可以任意取 0 或 1，17~28 位中至少有 1 位为 1，且低 4 位不能为 1。

- 建立和保持优先级

如果在建立 MPLS TE 隧道时，无法找到满足所需带宽要求的路径，可以拆除另外一条已经建立的 MPLS TE 隧道，占用为它分配的带宽资源，这种处理方式称为抢占。

MPLS TE 隧道使用两个优先级属性来决定是否可以抢占：建立优先级（Setup Priority）和保持优先级（Holding Priority）。建立优先级和保持优先级的取值范围都是 0~7，数值越小则优先级越高。只有当一条 MPLS TE 隧道的建立优先级数值小于另一条 MPLS TE 隧道的保持优先级时，该隧道才可以抢占另一条隧道的资源。

MPLS TE 隧道的建立优先级不能高于该隧道的保持优先级，即其在数值上应大于或等于保持优先级，否则可能会导致 MPLS TE 隧道间无穷尽地互相抢占，造成震荡。

- 显式路径

通过显式路径可以指定到达某个目的地所必须经过的节点、不允许经过的节点等。将显式路径作为约束条件，可以动态计算出符合规划要求的路径。

显式路径分为：

- 严格显式路径：指定必须经过哪些节点，并且指定的下一跳与前一跳必须直接相连。通过严格显式路径，可以最精确地控制 MPLS TE 隧道所经过的路径。
- 松散显式路径：指定必须经过哪些节点，并且指定的下一跳和前一跳之间可以存在其他节点。通过松散显式路径，可以模糊地限制 MPLS TE 隧道所经过的路径。

严格显式路径和松散显式路径还可以配合使用，即在显式路径中部分节点之间必须直接相连，部分节点之间可以存在其他节点。

3. 通过RSVP-TE建立CRLSP

使用 CSPF 算法计算出满足约束条件的路径后，MPLS TE 通过标签分发协议沿着计算出的路径建立 CRLSP，并在路径经过的节点上预留资源。

目前，设备上支持的 MPLS TE 标签分发协议为 RSVP-TE。RSVP (Resource Reservation Protocol, 资源预留协议) 是一种用来在网络上请求预留资源的信令协议。RSVP 经扩展后可以支持 MPLS 标签的分发，并在传送标签绑定消息的同时携带资源预留信息，这种扩展后的 RSVP 称为 RSVP-TE。

RSVP 的详细介绍，请参见“MPLS 配置指导”中的“RSVP”。

1.1.5 采用PCE计算的路径建立CRLSP

在 MPLS TE 网络中，作为 PCC (Path Computation Client, 路径计算客户端) 的 LSR 需要获取到达目的地的 CRLSP 路径时，向 PCE (Path Computation Element, 路径计算单元) 发起路径计算请求，PCE 执行路径计算后对该请求进行应答，并提供计算后的路径。PCC 根据 PCE 计算后的路径使用 RSVP-TE 建立 CRLSP。

PCE 设备用于为网络上的设备提供路径计算服务，可进行区域内的路径计算，也可在复杂的网络环境中计算完整的 CRLSP 路径，比如，在区域间的 ABR 上部署 PCE，用来计算跨区域的 CRLSP。

1. 基本概念

- PCE (Path Computation Element, 路径计算单元): 网络中的一个实体, 能够根据 TEDB 并基于带宽和其它约束条件来计算路径。
- PCC (Path Computation Client, 路径计算客户端): 请求 PCE 执行路径计算, 并根据 PCE 返回的路径信息建立 CRLSP。
- PCEP (Path Computation Element Communication Protocol, 路径计算单元通信协议): 运行于 PCC 与 PCE 之间、或者 PCE 与 PCE 之间的通信协议, 用于建立 PCEP 会话, 交互 PCEP 消息。该协议基于 TCP。

2. PCE发现机制

PCE 的发现有两种方式:

- 静态指定: 在 PCC 上静态指定 PCE。
- 动态发现: 通过 OSPF TE 通告 PCE 信息, 使得网络上的其它 LSR 可自动发现 PCE。

3. PCE路径计算方式

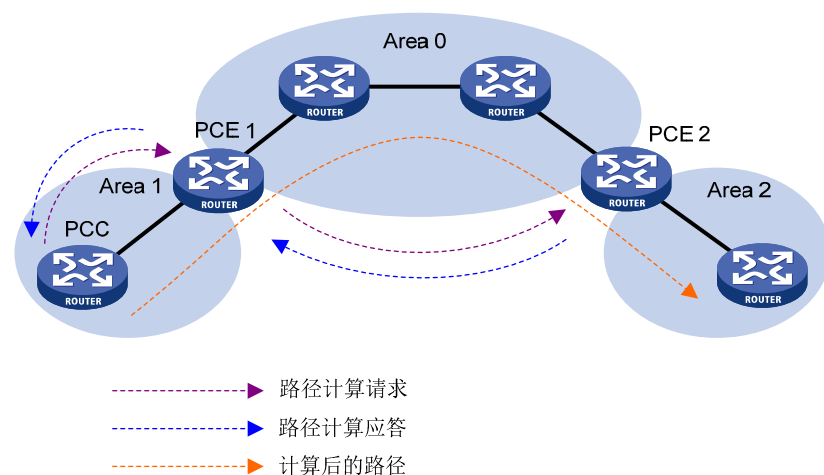
PCE 路径计算有两种方式:

- EPC (External Path Computation, 外部路径计算): 此方式由单台 PCE 独立完成 CRLSP 的计算, 通常用于区域内的路径计算。
- BRPC (Backward-Recursive PCE-Based Computation, 反向递归路径计算): 此方式通过多台 PCE 配合完成 CRLSP 的计算, 通常用于跨区域的路径计算。

以BRPC的计算方式为例, 在多区域的网络环境中, 如 [图 1-1](#) 所示, 两台ABR分别被配置为PCE 1 和PCE 2。PCE 1 可计算Area 0 和Area 1 内的路径, PCE 2 可计算Area 0 和Area 2 内的路径。当 PCC需要获取到达Area 2 的CRLSP路径时, 路径计算步骤为:

- (1) PCC 向 PCE 1 发起路径计算请求。
- (2) PCE 1 收到该请求后, 发现无法计算 Area 2 内路径, 则继续向 PCE 2 发起到达 Area 2 的路径计算请求。
- (3) PCE 2 应答该请求, 并提供到达 Area 2 的路径。
- (4) PCE 1 收到 PCE 2 的应答后, 汇总路径信息, 并对 PCC 的路径请求进行应答, 提供到达 Area 2 的路径。
- (5) PCC 根据 PCE 计算后的路径使用 RSVP-TE 建立 CRLSP。

图1-1 路径计算过程示意图



1.1.6 流量转发

当 MPLS TE 隧道建立之后，流量不会自动通过 MPLS TE 隧道转发，需要通过如下方法配置流量沿 MPLS TE 隧道转发。

1. 静态路由

使用静态路由转发流量，是指定义一条通过 Tunnel 接口到达目的网络地址的静态路由，把流量引入到 MPLS TE 隧道上进行转发。

静态路由是将流量引入 MPLS TE 隧道的最简便、直观的方法。该方法的缺点是：如果多个目的网络的流量都需要引入到 MPLS TE 隧道上，则需要配置多条静态路由，配置和维护难度比较大。

有关静态路由的介绍请参见“三层技术-IP 路由配置指导”中的“静态路由”。

2. 策略路由

使用 PBR（Policy-based Routing，基于策略的路由）转发流量，是指定义策略路由，在策略路由中将匹配 ACL 规则的流量的出接口指定为 Tunnel 接口，并在流量的入接口上应用该策略路由，从而实现将流量引入到 MPLS TE 隧道上进行转发。

策略路由方式不仅可以按照目的 IP 地址来匹配需要通过 Tunnel 接口转发的流量，还可以根据源 IP 地址、协议类型等来匹配流量。与静态路由方式相比，策略路由方式更加灵活，但是配置比较复杂。

有关策略路由的介绍请参见“三层技术-IP 路由配置指导”中的“策略路由”。

3. 自动路由发布

自动路由发布是指将 MPLS TE 隧道发布到 IGP（OSPF 或 IS-IS）路由中，让 MPLS TE 隧道参与 IGP 路由的计算，使得流量可以通过 MPLS TE 隧道转发。自动路由发布方式的配置和维护都比较简单。

自动路由发布包括以下两种方式：

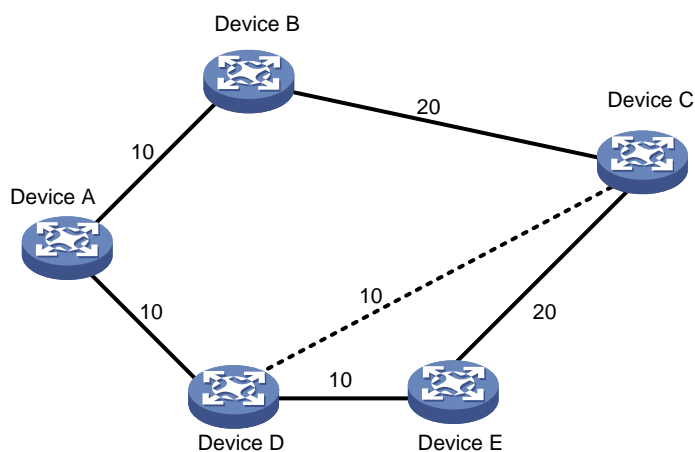
- **IGP Shortcut:** 也称为自动路由宣告（AutoRoute Announce），该功能将 MPLS TE 隧道当作一条直接连接隧道 Ingress 节点（头节点）和 Egress 节点（尾节点）的链路，在隧道的 Ingress 节点上进行 IGP 路由计算时考虑该 MPLS TE 隧道。

- 转发邻接：该功能将 MPLS TE 隧道当作一条直接连接隧道 Ingress 节点和 Egress 节点的链路，通过 IGP 路由协议将该链路发布到网络中，以便网络中的节点在路由计算时使用 MPLS TE 隧道。

IGP Shortcut 和转发邻接功能的区别在于：

- 在隧道的 Ingress 节点上开启 IGP Shortcut 功能后，只有 Ingress 节点计算 IGP 路由时会考虑 MPLS TE 隧道。IGP Shortcut 功能不会通过 IGP 路由协议将 MPLS TE 隧道作为一条链路发布出去。因此，其他设备在路由计算时不会考虑 MPLS TE 隧道。
- 在隧道的 Ingress 节点上开启转发邻接功能后，Ingress 节点会通过 IGP 路由协议将 MPLS TE 隧道作为一条链路发布出去。因此，IGP 网络中的所有设备在路由计算时都会考虑 MPLS TE 隧道。

图1-2 IGP Shortcut 与转发邻接示意图



在图 1-2 中，Device D 到 Device C 之间存在一条 MPLS TE 隧道，IGP Shortcut 只能使 Ingress 节点 Device D 在计算 IGP 路由时利用这条隧道，Device A 并不能利用这条隧道到达 Device C。如果配置了转发邻接功能，则 Device A 也能够知道这条 MPLS TE 隧道的存在，从而可以利用该隧道将到 Device C 的流量转发到 Device D 上。

1.1.7 make-before-break

make-before-break 是一种在尽可能不丢失数据，也不占用额外带宽的前提下改变 MPLS TE 隧道的机制。

在隧道重优化等情况下，如果在新的 CRLSP 建立之前拆除旧的 CRLSP，则会导致流量转发中断。通过 make-before-break 机制可以确保新 CRLSP 建立、并将流量切换到新的 CRLSP 后，再拆除旧 CRLSP，从而有效地避免流量转发中断。此时，存在的问题是：如果新的 CRLSP 和旧 CRLSP 部分路径相同，则在这些路径上需要重复为新旧 CRLSP 预留带宽，造成带宽资源的浪费。make-before-break 机制采用 SE 资源预留风格解决这个问题。

资源预留风格是 RSVP-TE 协议在建立 CRLSP 时预留带宽资源的方式。MPLS TE 隧道使用的资源预留风格由隧道的 Ingress 节点决定，并通过 RSVP 协议通知给各个节点。

目前，设备支持以下两种资源预留风格：

- FF (Fixed-Filter, 固定过滤器)：为每个发送者单独预留资源，同一会话中的不同发送者不能共享资源。

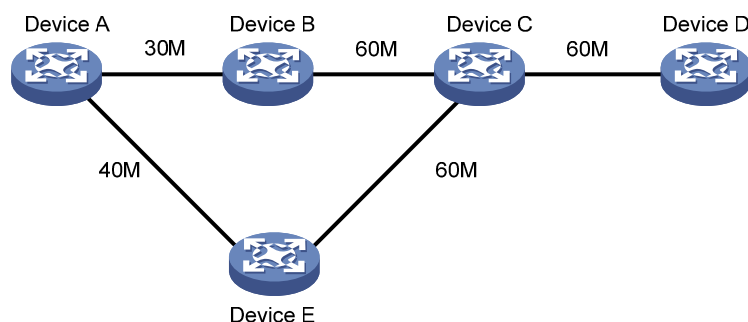
- SE (Shared-Explicit, 共享显式)：为同一个会话中的不同发送者预留同一个资源，不同发送者之间可以共享资源。该方式主要用于 make-before-break。

在图 1-3 中，假设需要建立一条 Device A 到 Device D 的 CRLSP，保留 30M 带宽，起初建立的路径是 Device A → Device B → Device C → Device D。

现在希望将带宽增大为 40M，Device A → Device B → Device C → Device D 路径不能满足要求。而如果选择 Device A → Device E → Device C → Device D，则 Device C → Device D 需要同时预留 30M 和 40M 带宽，也存在带宽不够的问题。

采用 make-before-break 机制，新建立的 CRLSP 在 Device C → Device D 可以共享原 CRLSP 的带宽，不需要为新 CRLSP 和旧 CRLSP 重复预留带宽。新 CRLSP 建立成功后，流量切换到新 CRLSP 上，之后拆除原 CRLSP，从而有效地避免了流量中断。

图1-3 make-before-break 示意图



1.1.8 路由固定

路由固定是指 CRLSP 创建成功后，即使路由发生变化，也不重新选择最优路径，而是沿用已创建的路径。

在路由变化频繁的网络中，如果不希望 CRLSP 随着路由频繁变化，则可以通过本功能确保只要已建立的 CRLSP 可用就不重新创建 CRLSP。

1.1.9 隧道重优化

隧道重优化功能是指周期性地或通过命令行手工触发隧道的 Ingress 节点重新计算路径。如果计算出的路径优于当前路径，则创建一条新的 CRLSP。将流量从旧的 CRLSP 切换至新的 CRLSP 后，删除旧的 CRLSP。

MPLS TE 利用隧道重优化功能实现 CRLSP 的动态优化，以便及时地将 MPLS TE 隧道切换到当前的最优路径。例如，如果在 MPLS TE 隧道建立时，最优路径上的链路没有足够的可预留带宽，则会导致 MPLS TE 隧道未使用最优路径建立。通过隧道重优化功能，可以实现链路上具有足够的带宽时将 MPLS TE 隧道自动切换到最优路径。

1.1.10 CRLSP 备份

CRLSP 备份是指通过备份 CRLSP 对主 CRLSP 进行保护。当 Ingress 感知到主 CRLSP 不可用时，将流量切换到备份 CRLSP 上，当主 CRLSP 路径恢复后再将流量切换回来，以实现主 CRLSP 的备份保护。

CRLSP 备份有两种备份方法：

- 热备份：创建主 CRLSP 后随即创建备份 CRLSP。主 CRLSP 失效时，直接将流量切换至备份 CRLSP。
- 普通备份：指主 CRLSP 失效后创建备份 CRLSP。

1.1.11 快速重路由

FRR（Fast Reroute，快速重路由）是 MPLS TE 中实现网络局部保护的技术。FRR 的切换速度可以达到 50ms，能够最大程度减少网络故障时数据的丢失。

开启隧道的 FRR 功能后，当主 CRLSP 上的某条链路或某个节点失效时，流量会被切换到 Bypass 隧道上。同时，隧道的 Ingress 节点尝试建立新的 CRLSP。新的 CRLSP 建立成功后，流量将切换到新的 CRLSP。



CRLSP 备份是一种端到端的路径保护，对整条 CRLSP 提供保护，而 FRR 则是一种局部保护措施，只能保护 CRLSP 中的某条链路或某个节点。并且，FRR 是一种快速响应的临时性保护措施，对于切换时间有严格要求，CRLSP 备份则没有时间要求。

1. 基本概念

下面介绍 FRR 中的几个概念：

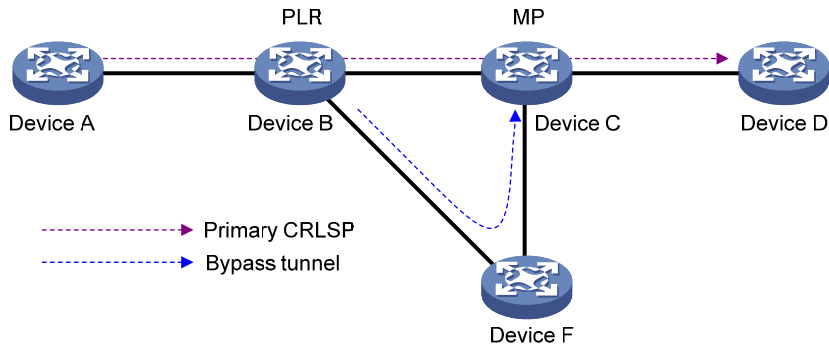
- 主 CRLSP：被保护的 CRLSP。
- Bypass 隧道：旁路隧道，保护主 CRLSP 中的某条链路或某个节点的 MPLS TE 隧道。
- PLR(Point of Local Repair，本地修复节点)：Bypass 隧道的 Ingress 节点，必须在主 CRLSP 的路径上，并且不能是主 CRLSP 的 Egress 节点。
- MP (Merge Point，汇聚点)：Bypass 隧道的 Egress 节点，必须在主 CRLSP 的路径上，并且不能是主 CRLSP 的 Ingress 节点。

2. 保护方式

根据保护的對象不同，FRR 分为两类：

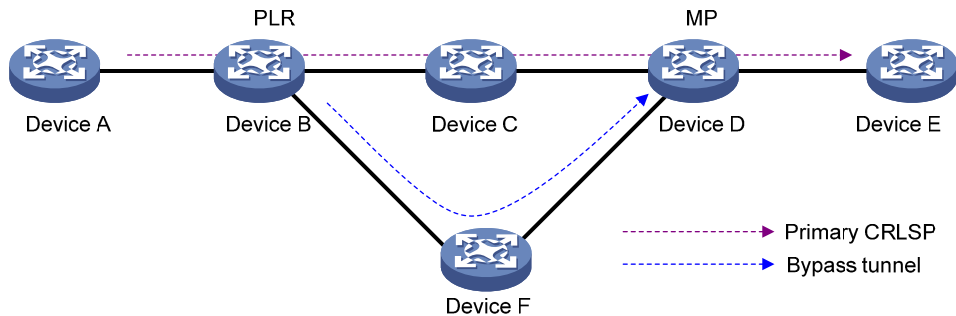
- 链路保护：又称为 Next-hop (NHOP) 保护。PLR 和 MP 之间有直接链路连接，主 CRLSP 经过这条链路。当这条链路失效时，流量可以切换到 Bypass 隧道上。如 [图 1-4](#) 所示，主 CRLSP 是 Device A → Device B → Device C → Device D，Bypass 隧道是 Device B → Device F → Device C。

图1-4 FRR 链路保护示意图



- 节点保护: 又称为Next-next-hop (NNHOP)保护。PLR和MP之间通过一台设备连接, 主CRLSP经过这台设备。当这台设备失效时, 流量可以切换到Bypass隧道上。如 图 1-5 所示, 主CRLSP是Device A→Device B→Device C→Device D→Device E, Bypass隧道是Device B→Device F→Device D, Device C是被保护的设备。

图1-5 FRR 节点保护示意图



1.1.12 DiffServ-Aware TE

DiffServ 作为一种 QoS 解决方案, 其主要实现机制是对流量按照服务类型 (class of service) 进行划分, 基于服务类型提供不同的 QoS 保证。而 MPLS TE 作为流量工程解决方案, 主要用于对网络资源的使用进行优化。

DiffServ-Aware TE, 简称 DS-TE, 结合上述两者的优势, 能够基于按服务类型划分的流量进行网络资源优化, 即对不同的服务类型进行不同的带宽约束。概括来说, DS-TE 将不同服务类型的流量与 CRLSP 进行映射, 使流量经过的路径符合对其服务类型的流量工程约束条件。

目前, 设备支持两种 DS-TE 模式:

- 自定义的 Prestandard 模式
- 根据 RFC 4124、RFC 4125、RFC 4127 实现的 IETF 模式

1. DS-TE基本概念

- CT (Class Type, 服务类型): 流量所属的业务类别, 用来实现对不同的流量进行分类。DS-TE 根据业务流所属的 CT 为其分配链路带宽、实施约束路由及进行准入控制。对于一个给定的业务流, 在其经过的所有链路上, 该业务流都属于相同的 CT。

- BC (Bandwidth Constraint, 带宽约束): 用来对各种服务类型流量所能使用的带宽进行限制。
- 带宽约束模型 (Bandwidth Constraint Model): 用来实现对不同 CT 的业务流进行带宽约束的算法。带宽约束模型由两部分内容决定: 最大 BC 数目、BC 与 CT 的对应关系。DS-TE 支持两种带宽约束模型 RDM (Russian Dolls Model, 俄罗斯套娃模型) 和 MAM (Maximum Allocation Model, 最大分配模型)。
- TE class: CT 及优先级的组合。如果流量属于某个 CT, 则传输该流量的 MPLS TE 隧道的建立优先级或保持优先级必须是该 CT 对应的优先级。



说明

Prestandard 模式和 IETF 模式具有如下区别, 请根据服务类型的数量、所需带宽约束模型等选择合适的 DS-TE 模式。

- Prestandard 模式支持 2 个 CT (CT 0 和 CT 1), 8 种优先级, 最大支持 16 个 TE class; IETF 模式支持 4 个 CT (CT 0、CT 1、CT 2 和 CT 3), 8 种优先级, 最大支持 8 个 TE class。
- Prestandard 模式下不可以通过配置改变 TE class; IETF 模式下可以通过配置改变 TE class。
- Prestandard 模式只支持 RDM 模型; IETF 模式支持 RDM 模型和 MAM 模型。
- Prestandard 模式为自定义模式, 无法与所有厂商设备互通; IETF 模式为根据 RFC 标准实现的模式, 可以与其他厂商设备互通。

2. DS-TE工作原理

根据流量的服务类型建立 MPLS TE 隧道的过程如下:

(1) 判断流量所属的 CT

设备上根据配置实现不同业务流量的分类:

- 对于动态建立的 MPLS TE 隧道, 在隧道接口下执行 **mpls te bandwidth** 命令, 可以配置通过该隧道接口的流量所属的 CT。
- 对于静态建立的 MPLS TE 隧道, 配置静态隧道时, 可以通过 **bandwidth** 参数指定通过该静态隧道转发的流量所属的 CT。

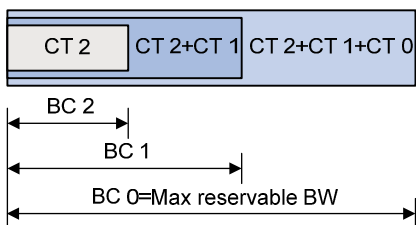
(2) 检查 CT 对应的 BC 中是否存在足够的带宽

用户可以在接口下通过 **mpls te max-reservable-bandwidth** 命令, 配置该接口的带宽限制。设备根据流量所属的 CT 及接口的带宽限制, 判断是否存在足够的带宽为该流量建立 MPLS TE 隧道。

不同带宽约束模型下, BC 与 CT 的关系不同:

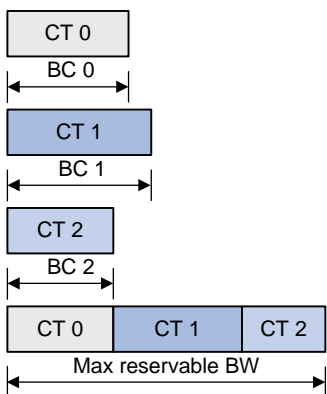
- RDM: 限制多种服务类型流量 (CT) 的共用带宽, 允许多种 CT 间共享使用带宽, 而不是限制某一种 CT 的带宽。如 [图 1-6](#) 所示, 以三个 CT (CT 0、CT 1 和 CT 2) 为例, BC 2 为 CT 2 的带宽限制, 即属于 CT 2 流量的带宽总和不能超过 BC 2; BC 1 为 CT 2 和 CT 1 两种业务的带宽限制, 即属于 CT 2 和 CT 1 流量的带宽总和不能超过 BC 1; BC 0 为 CT 2、CT 1 和 CT 0 三种业务的带宽限制, 即属于 CT 2、CT 1 和 CT 0 流量的带宽总和不能超过 BC 0。在 RDM 中, BC 0 即为链路的最大可预留带宽。RDM 与建立优先级/保持优先级配合, 可以实现 CT 间的带宽隔离。RDM 比较适用于属于 CT 的流量不平稳、可能存在突发流量的情况。

图1-6 RDM 带宽约束模型示意图



- **MAM**: 限制某一CT在接口上占用的带宽总和, 即隔离CT之间的带宽使用。如 [图 1-7](#) 所示, 以三个CT (CT 0、CT 1 和CT 2) 为例, BC 0 为CT 0 的带宽限制, 即属于CT 0 流量的带宽总和不能超过BC 0; BC 1 为CT 1 的带宽限制, 即属于CT 1 流量的带宽总和不能超过BC 1; 以此类推。并且, 属于CT 0、CT 1 和CT 2 流量的带宽总和不能超过最大可预留带宽。**MAM**不需要与建立优先级/保持优先级配合, 就可以实现CT间的带宽隔离。**MAM**的特点是比较直观, 配置较为容易。**MAM**比较适用于属于CT的流量较为平稳、不存在突发流量的情况。

图1-7 MAM 带宽约束模型示意图



(3) 检查流量是否与已经存在的 TE class 匹配

根据服务类型建立 MPLS TE 隧道时, 还需要检查流量所属的 CT 及 LSP 的建立优先级/保持优先级是否与已经存在的 TE class 匹配。要想为该流量建立隧道, 必须同时满足下面两个条件:

- 隧道经过的节点上都存在与流量所属 CT、LSP 建立优先级匹配的 TE class;
- 隧道经过的节点上都存在与流量所属 CT、LSP 保持优先级匹配的 TE class。

1.1.13 MPLS TE双向隧道

MPLS TE 隧道作为 MPLS-TP (MPLS Transport Profile, MPLS 传送技术架构) 的分组传送隧道, 需要实现双向隧道功能, 以支持 1:1 和 1+1 保护倒换, 承载 MPLS 传送所需要的 OAM (Operations, Administration, and Maintenance, 操作、管理和维护) 和 PSC (Protection State Coordination, 保护状态协调) 等带内检测工具和信令。

一条 MPLS TE 双向隧道由方向相反的一对单向 CRLSP 组成。MPLS TE 双向隧道的建立有如下几种方式：

- **Co-routed 方式：**对 RSVP-TE 协议进行扩展，通过 RSVP-TE 信令协议建立 MPLS TE 双向隧道，即通过 Path 消息将上游 LSR 分配的标签通告给下游 LSR，在 Path 消息传递的过程中建立一个方向的 CRLSP，再通过 Resv 消息将下游 LSR 分配的标签通告给上游 LSR，在 Resv 消息传递的过程中建立另一个方向的 CRLSP。Co-routed 方式建立的 MPLS TE 双向隧道的正反两个方向 CRLSP 使用的是相同的路径。
- **Associated 方式：**通过配置手工将两条方向相反的单向 CRLSP 绑定，从而形成 MPLS TE 双向隧道。绑定在一起的两条单向 CRLSP 可以通过不同的方式建立，例如一个方向上的 CRLSP 使用静态方式建立，而另一个方向上的 CRLSP 使用 RSVP-TE 信令建立。绑定在一起的两条单向 CRLSP 使用的路径可以不同。

通过 RSVP-TE 信令协议建立 MPLS TE 隧道、Path 消息、Resv 消息的详细介绍，请参见“MPLS 配置指导”中的“RSVP”。

1.1.14 CBTS

1. CBTS简介

CBTS（Class-based Tunnel Selection，基于服务类型的隧道选择）有别于传统的隧道选择方式，它基于流量的隧道转发类选择相对应的隧道进行转发，以便根据业务的不同提供不同的转发服务。

2. CBTS工作原理

CBTS 工作原理为：

- (1) 在设备入方向上通过流行为配置隧道转发类。流行为的相关配置请参见“ACL 和 QoS 配置指导”中的“QoS”。
- (2) 配置隧道的隧道转发类（Service-class 属性），与隧道转发类匹配的流量可以通过该隧道转发，而不是像普通负载分担一样会使用所有的隧道进行转发。

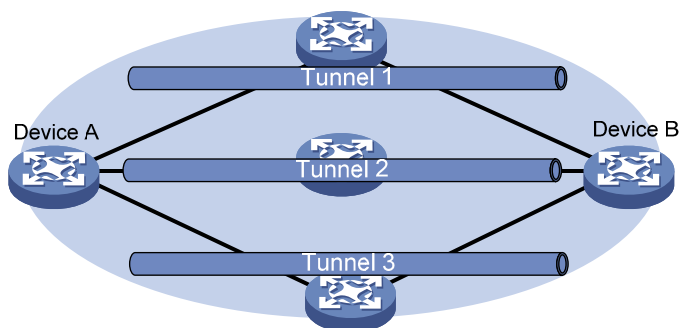
3. CBTS优选规则

CBTS 的优选规则为：

- 设备会优先选择与流量的隧道转发类值相同的隧道转发该流量。
- 如果存在多条与流量的隧道转发类值相同的隧道，则随机选择其中的一条隧道进行流量转发。
- 如果没有与流量的隧道转发类值相同的隧道，则选择隧道转发类值最小的隧道转发流量，未配置隧道转发类的隧道转发类值最小。

4. CBTS示例

图1-8 CBTS 示意图



Tunnel 1隧道转发类: 未配置

Tunnel 2隧道转发类: 3

Tunnel 3隧道转发类: 6

如 图 1-8 所示，隧道的选择原则为：

- 从 Device A 到 Device B 隧道转发类值为 3 的流量通过 Tunnel2 转发。
- 从 Device A 到 Device B 隧道转发类值为 6 的流量通过 Tunnel3 转发。
- 从 Device A 到 Device B 未配置隧道转发类的流量通过 Tunnel1 转发。

1.1.15 协议规范

与 MPLS TE 相关的协议规范有：

- RFC 2702: Requirements for Traffic Engineering Over MPLS
- RFC 3564: Requirements for Support of Differentiated Service-aware MPLS Traffic Engineering
- RFC 3812: Multiprotocol Label Switching (MPLS) Traffic Engineering (TE) Management Information Base (MIB)
- RFC 4124: Protocol Extensions for Support of Diffserv-aware MPLS Traffic Engineering
- RFC 4125: Maximum Allocation Bandwidth Constraints Model for Diffserv-aware MPLS Traffic Engineering
- RFC 4127: Russian Dolls Bandwidth Constraints Model for Diffserv-aware MPLS Traffic Engineering
- ITU-T Recommendation Y.1720: Protection switching for MPLS networks
- RFC 4655: A Path Computation Element (PCE)-Based Architecture
- RFC 5088: OSPF Protocol Extensions for Path Computation Element Discovery
- RFC 5440: Path Computation Element (PCE) Communication Protocol (PCEP)
- RFC 5441: A Backward-Recursive PCE-Based Computation (BRPC) Procedure to Compute Shortest Constrained Inter-Domain Traffic Engineering LSP
- RFC 5455: Diffserv-Aware Class-Type Object for the Path Computation Element Communication Protocol

- RFC 5521: Extensions to the Path Computation Element Communication Protocol (PCEP) for Route Exclusions
- RFC 5886: A Set of Monitoring Tools for Path Computation Element (PCE)-Based Architecture
- draft-ietf-pce-stateful-pce-07

1.2 MPLS TE配置任务简介

1.2.1 静态建立CRLSP

静态建立 CRLSP 配置任务如下：

- (1) [开启MPLS TE能力](#)
MPLS TE 隧道经过的各个节点和接口上均需进行本配置。
- (2) [配置Tunnel接口](#)
在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。
- (3) （可选）[配置DiffServ-Aware TE](#)
在 MPLS TE 隧道经过的所有节点上均可执行本配置。
- (4) 创建静态 CRLSP
MPLS TE 隧道经过的各个节点上均需进行本配置。
配置方法请参见“MPLS 配置指导”中的“静态 CRLSP”。
- (5) [配置MPLS TE隧道采用静态CRLSP](#)
在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。
- (6) [配置流量转发](#)
请选择以下一项进行配置：
 - [配置静态路由使流量沿MPLS TE隧道转发](#)
 - [配置策略路由使流量沿MPLS TE隧道转发](#)
 - [配置自动路由发布使流量沿MPLS TE隧道转发](#)
 在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。
- (7) （可选）[配置MPLS TE双向隧道](#)
在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点和 Egress 上执行本配置。
- (8) （可选）[配置CBTS](#)
- (9) （可选）[开启告警功能](#)

1.2.2 动态建立CRLSP

动态建立 CRLSP 配置任务如下：

- (1) 开启 MPLS TE 能力和 RSVP 能力
 - [开启MPLS TE能力](#)
 - 开启 RSVP 能力
开启 RSVP 能力配置方法请参见“MPLS 配置指导”中的“RSVP”。

MPLS TE 隧道经过的各个节点和接口上均需进行本配置。

(2) [配置Tunnel接口](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。

(3) (可选) [配置DiffServ-Aware TE](#)

在 MPLS TE 隧道经过的所有节点上均可执行本配置。

(4) 配置 MPLS TE 隧道采用 RSVP-TE 动态建立的 CRLSP

a. [配置链路的MPLS TE属性](#)

在 MPLS TE 隧道经过的各个接口上均需执行本配置。

b. [配置通过IGP的TE扩展发布链路的MPLS TE属性](#)

在 MPLS TE 隧道经过的各个节点上均需执行本配置。

c. [配置MPLS TE隧道的约束条件](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。

d. [使用RSVP-TE建立MPLS TE隧道](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。

e. (可选) [调整CRLSP的路径选择](#)

f. (可选) [调整MPLS TE隧道的建立](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。

(5) [配置流量转发](#)

请选择以下一项进行配置：

o [配置静态路由使流量沿MPLS TE隧道转发](#)

o [配置策略路由使流量沿MPLS TE隧道转发](#)

o [配置自动路由发布使流量沿MPLS TE隧道转发](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上进行配置。

(6) (可选) [配置MPLS TE双向隧道](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点和 Egress 上执行本配置。

(7) (可选) 配置 MPLS TE 高可靠性

o [配置CRLSP备份](#)

请在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。

o [配置MPLS TE快速重路由](#)

请在主 CRLSP 的 Ingress 节点上开启快速重路由功能。

(8) (可选) [配置CBTS](#)

(9) (可选) [开启告警功能](#)

1.2.3 采用PCE计算的路径建立CRLSP

采用 PCE 计算的路径建立 CRLSP 配置任务如下：

(1) 开启 MPLS TE 能力和 RSVP 能力

o [开启MPLS TE能力](#)

o 开启 RSVP 能力

开启 RSVP 能力配置方法请参见“MPLS 配置指导”中的“RSVP”。

MPLS TE 隧道经过的各个节点和接口上均需进行本配置。

(2) [配置Tunnel接口](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。

(3) (可选) [配置DiffServ-Aware TE](#)

在 MPLS TE 隧道经过的所有节点上均可执行本配置。

(4) 发布链路的 MPLS TE 属性，并配置 MPLS TE 隧道的约束条件

a. [配置链路的MPLS TE属性](#)

在 MPLS TE 隧道经过的各个接口上均需执行本配置。

b. [配置通过IGP的TE扩展发布链路的MPLS TE属性](#)

在 MPLS TE 隧道经过的各个节点上均需执行本配置。

c. [配置MPLS TE隧道的约束条件](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。

(5) [配置MPLS TE隧道采用PCE计算的路径建立CRLSP](#)

a. [配置PCE](#)

请在作为 PCE 设备上执行本配置。PCE 设备既可以是隧道经过的节点，也可以是隧道未经过的节点。

b. [配置PCE发现](#)

请在 PCC 设备上执行本配置。

c. [配置使用PCE计算路径](#)

请在 PCC 设备上执行本配置。

d. [使用RSVP-TE建立MPLS TE隧道](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。

e. (可选) [配置PCEP会话参数](#)

请在 PCC 设备上执行本配置。

(6) [配置流量转发](#)

请选择以下一项进行配置：

- [配置静态路由使流量沿MPLS TE隧道转发](#)
- [配置策略路由使流量沿MPLS TE隧道转发](#)
- [配置自动路由发布使流量沿MPLS TE隧道转发](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上进行配置。

(7) (可选) [配置MPLS TE双向隧道](#)

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点和 Egress 上执行本配置。

(8) (可选) 配置 MPLS TE 高可靠性

○ [配置CRLSP备份](#)

请在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。

○ [配置MPLS TE快速重路由](#)

请在主 CRLSP 的 Ingress 节点上开启快速重路由功能。

- (9) (可选) [配置CBTS](#)
- (10) (可选) [开启告警功能](#)

1.3 MPLS TE配置准备

在配置 MPLS TE 前，需要完成以下任务：

- 配置静态路由或 IGP 协议保证各 LSR 之间路由可达。
- 使能 MPLS 功能，详细配置请参见“MPLS 配置指导”中的“MPLS 基础”。

1.4 开启MPLS TE能力

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 开启本节点的 MPLS TE 能力，并进入 MPLS TE 视图。

```
mpls te
```

缺省情况下，MPLS TE 能力处于关闭状态。

- (3) 退回系统视图。

```
quit
```

- (4) 进入接口视图。

```
interface interface-type interface-number
```

- (5) 开启接口的 MPLS TE 能力。

```
mpls te enable
```

缺省情况下，接口上的 MPLS TE 能力处于关闭状态。

1.5 配置Tunnel接口

1. 功能简介

MPLS TE 隧道的属性都是在 Tunnel 接口视图下配置的。因此，在配置 MPLS TE 隧道之前，需要先创建 MPLS TE 隧道模式的 Tunnel 接口。有关 Tunnel 接口的介绍和更多配置请参见“三层技术-IP 业务配置指导”中的“隧道”。

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上执行本配置。

2. 配置限制和指导

在 Tunnel 接口处于 UP 状态的情况下，如下几种操作会导致 Tunnel 接口状态 DOWN/UP 震荡一次，建议用户根据当前业务情况谨慎操作：

- 配置处理接口流量的主用 slot。
- 配置处理接口流量的备用 slot。
- 指定的主用 slot/备用 slot 重启或进行插拔操作。

配置处理接口流量 slot 的详细介绍请参见“三层技术-IP 业务配置指导”中的“隧道”。

3. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

system-view

- (2) 创建模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口，并进入 Tunnel 接口视图。

interface tunnel tunnel-number mode mpls-te

- (3) 配置 Tunnel 接口的 IP 地址。

ip address ip-address { mask-length | mask }

缺省情况下，未指定 Tunnel 接口的 IP 地址。

- (4) 配置隧道的目的端地址。

destination ip-address

缺省情况下，未指定隧道的目的端地址。

1.6 配置 DiffServ-Aware TE

1. 功能简介

在 MPLS TE 隧道经过的所有节点上均可配置 DiffServ-Aware TE。

2. 配置指导

- (1) 进入系统视图。

system-view

- (2) 进入 MPLS TE 视图。

mpls te

- (3) 配置 DS-TE 模式。

- 配置 DS-TE 模式为 IETF 模式。

ds-te mode ietf

- 配置 DS-TE 模式为 Prestandard 模式。

undo ds-te mode ietf

缺省情况下，DS-TE 模式为 Prestandard 模式。

- (4) 配置 IETF DS-TE 模式下的带宽约束模型。

- 配置 IETF DS-TE 模式下的带宽约束模型为 MAM

ds-te bc-model mam

- 配置 IETF DS-TE 模式下的带宽约束模型为 RDM

undo ds-te bc-model mam

缺省情况下，IETF DS-TE 模式的带宽约束模型为 RDM。

- (5) 配置 IETF DS-TE 模式下 TE class 与服务类型、优先级的对应关系。

**ds-te te-class te-class-index class-type class-type-number priority
priority**

缺省情况下，IETF模式的TE class如 [表 1-1](#)所示。

表1-1 IETF 模式的缺省 TE class

TE Class	CT	Priority
0	0	7

TE Class	CT	Priority
1	1	7
2	2	7
3	3	7
4	0	0
5	1	0
6	2	0
7	3	0

1.7 配置MPLS TE隧道采用静态CRLSP

1. 功能简介

在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上需要配置 MPLS TE 隧道采用静态 CRLSP。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置使用静态 CRLSP 建立 MPLS TE 隧道。

```
mpls te signaling static
```

缺省情况下，MPLS TE 使用 RSVP-TE 信令协议建立隧道。

- (4) 指定隧道引用的静态 CRLSP。

```
mpls te static-cr-lsp lsp-name
```

缺省情况下，隧道没有引用任何静态 CRLSP。

引用的 CRLSP 必须存在。静态 CRLSP 的配置方法请参见“MPLS 配置指导”中的“静态 CRLSP”。

1.8 配置链路的MPLS TE属性

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入接口视图。

```
interface interface-type interface-number
```

- (3) 配置用于转发 MPLS TE 流量的链路最大带宽。

```
mpls te max-link-bandwidth { bandwidth-value | percent percent-bandwidth }
```

缺省情况下，用于转发 MPLS TE 流量的链路最大带宽为 0。

- (4) 配置最大可预留带宽。请根据“[1.6 配置DiffServ-Aware TE](#)”中配置的DS-TE模式和带宽约束模型选择其中一项进行配置。

- 配置 Prestandard DS-TE 模式下 RDM 带宽约束模型 BC 0 和 BC 1 的最大可预留带宽。

```
mpls te max-reservable-bandwidth { bandwidth-value [ bc1  
bc1-bandwidth ] | percent percent-bandwidth [ bc1  
bc1-percent-bandwidth ] }
```

- 配置 IETF DS-TE 模式下 MAM 带宽约束模型的 MPLS TE 链路最大可预留带宽及各 BC 的最大可预留带宽。

```
mpls te max-reservable-bandwidth mam { bandwidth-value { bc0  
bc0-bandwidth | bc1 bc1-bandwidth | bc2 bc2-bandwidth | bc3  
bc3-bandwidth } * | percent percent-bandwidth { bc0  
bc0-percent-bandwidth | bc1 bc1-percent-bandwidth | bc2  
bc2-percent-bandwidth | bc3 bc3-percent-bandwidth } * }
```

- 配置 IETF DS-TE 模式 RDM 带宽约束模型各 BC 的最大可预留带宽。

```
mpls te max-reservable-bandwidth rdm { bandwidth-value [ bc1  
bc1-bandwidth ] [ bc2 bc2-bandwidth ] [ bc3 bc3-bandwidth ] | percent  
percent-bandwidth [ bc1 bc1-percent-bandwidth ] [ bc2  
bc2-percent-bandwidth ] [ bc3 bc3-percent-bandwidth ] }
```

缺省情况下，最大可预留带宽均为 0。

在 RDM 模型中，BC 0 即为链路的最大可预留带宽。

- (5) 配置链路的属性。

```
mpls te link-attribute attribute-value
```

缺省情况下，链路的属性值为 0x00000000。

1.9 配置通过IGP的TE扩展发布链路的MPLS TE属性

1.9.1 功能简介

OSPF、IS-IS 扩展后可以用来发布链路的 MPLS TE 相关属性。OSPF、IS-IS 的这种扩展分别称为 OSPF TE 和 IS-IS TE。如果同时配置了 OSPF TE 和 IS-IS TE，则 MPLS TE 优先根据 OSPF TE 学习到的 MPLS TE 属性信息进行 CSPF 计算。

1.9.2 配置限制和指导

如果不配置 IGP 的 TE 扩展，就不能形成 TEDB。这种情况下计算出的路径是由 IGP 路由得到的，而不是 CSPF 计算出来的。

1.9.3 配置OSPF TE

1. 功能简介

OSPF TE 使用 Opaque Type 10 LSA 携带链路的 TE 属性信息，因此，配置 OSPF TE 时必须先使能 OSPF 的 Opaque 能力。有关 OSPF Opaque 能力的介绍请参见“三层技术-IP 路由配置指导”中的“OSPF”。

2. 配置限制和指导

由于 MPLS TE 无法在 OSPF 虚连接上预留资源和分配标签，即 MPLS TE 无法通过 OSPF 虚连接建立 CRLSP 隧道。因此，配置 OSPF TE 时，OSPF 路由域内不能存在虚连接。

3. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入 OSPF 协议视图。

```
ospf [ process-id ]
```

- (3) 使能 OSPF 的 Opaque LSA 发布接收能力。

```
opaque-capability enable
```

缺省情况下，OSPF 的 Opaque LSA 发布接收能力处于开启状态。

本命令的详细介绍，请参见“三层技术-IP 路由命令参考”中的“OSPF”。

- (4) 进入 OSPF 的区域视图。

```
area area-id
```

- (5) 开启 OSPF 区域的 MPLS TE 能力。

```
mpls te enable
```

缺省情况下，OSPF 区域的 MPLS TE 能力处于关闭状态。

1.9.4 配置IS-IS TE

1. 功能简介

IS-IS TE 使用扩展 IS 可达性 TLV（类型为 22）的子 TLV 携带 TE 属性信息，扩展 IS 可达性 TLV 携带 wide 类型的开销值。因此，配置 IS-IS TE 时，必须配置 IS-IS 的开销值类型为 **wide**、**compatible** 或 **wide-compatible**。有关 IS-IS 的介绍请参见“三层技术-IP 路由配置指导”中的“IS-IS”。

2. 配置限制和指导

IS 可达性 TLV 长度不定，为确保 IS-IS LSP 能顺利携带此类 TLV 并在网络上正确泛洪，建议所有使能 IS-IS TE 的接口的 MTU 不要小于 512 字节。

3. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 创建一个 IS-IS 进程，并进入 IS-IS 视图。

```
isis [ process-id ]
```

- (3) 配置 IS-IS 开销值的类型。

```
cost-style { narrow | wide | wide-compatible | { compatible | narrow-compatible } [ relax-spf-limit ] }
```

缺省情况下，IS-IS 只接收和发送采用 **narrow** 方式表示路径开销值的报文。

本命令的详细介绍，请参见“三层技术-IP 路由命令参考”中的“IS-IS”。

- (4) 开启 IS-IS 进程的 MPLS TE 能力。


```
mpls te enable [ level-1 | level-2 ]
```

缺省情况下，IS-IS 进程的 MPLS TE 能力处于关闭状态。

- (5) 配置携带 DS-TE 参数的子 TLV 的类型值。

```
te-subtlv { bw-constraint value | unreserved-subpool-bw value } *
```

缺省情况下，带宽约束 **bw-constraint** 的子 TLV 类型值为 252；子池未预订带宽 **unreserved-bw-sub-pool** 的子 TLV 类型值为 251。

1.10 配置MPLS TE隧道的约束条件

1.10.1 配置MPLS TE隧道的带宽要求

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置隧道所需的带宽，并指定隧道流量所属的服务类型。

```
mpls te bandwidth [ ct0 | ct1 | ct2 | ct3 ] bandwidth
```

缺省情况下，未配置 MPLS TE 隧道所需的带宽，即带宽为 0，隧道流量属于 CT0。

1.10.2 配置MPLS TE隧道的亲和属性

1. 功能简介

不同厂商实现的链路属性和亲和属性的关系可能有所不同，当在同一网络中使用不同厂商的设备时，需要事先了解各自的实现方式，正确配置链路的属性和隧道的亲和属性，以便准确建立隧道。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置隧道的亲和属性。

```
mpls te affinity-attribute attribute-value [ mask mask-value ]
```

缺省情况下，隧道的亲和属性为 0x00000000，掩码为 0x00000000，即隧道可以使用任意属性的链路。

1.10.3 配置MPLS TE隧道的建立优先级和保持优先级

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置 MPLS TE 隧道的建立优先级和保持优先级。

```
mpls te priority setup-priority [ hold-priority ]
```

缺省情况下，建立优先级和保持优先级都为7。

1.10.4 配置显式路径

1. 功能简介

显式路径由一系列节点构成，一条显式路径上的两个相邻节点之间存在两种关系：

- 严格下一跳 (**strict**)：两个节点必须直接相连；
- 松散下一跳 (**loose**)：两个节点之间可以存在其他设备。

2. 配置限制和指导

在不同的区域或自治系统之间建立 MPLS TE 隧道时必须使用松散显式路径，指定显式路径的下一跳为 ABR (Area Border Router, 区域边界路由器) 或 ASBR (Autonomous System Boundary Router, 自治系统边界路由器)，并保证隧道 Ingress 节点与 ABR 或 ASBR 之间路由可达。

3. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 创建隧道的显式路径，并进入显式路径视图。

```
explicit-path path-name
```

- (3) 启用显式路径。

```
undo disable
```

缺省情况下，显式路径可用。

- (4) 在显式路径中添加或修改节点及其属性。

```
nexthop [ index index-number ] ip-address [ exclude | include [ loose |  
strict ] ]
```

在向显式路径中增加或修改节点时，参数 **include** 表示建立的 CRLSP 必须经过指定节点；参数 **exclude** 表示建立的 CRLSP 不能经过指定节点。

- (5) 退回系统视图。

```
quit
```

- (6) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (7) 配置 CRLSP 应用显式路径，并指定显式路径的优先级。

```
mpls te path preference value explicit-path path-name [ no-cspf ]
```

缺省情况下，使用自动计算的路径建立 CRLSP。

1.11 使用RSVP-TE建立MPLS TE隧道

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置使用 RSVP-TE 信令协议建立隧道。

```
mpls te signaling rsvp-te
```

缺省情况下，MPLS TE 使用 RSVP-TE 信令协议建立隧道。

- (4) 配置 CRLSP 应用的路径及路径的优先级。

```
mpls te path preference value { dynamic | explicit-path path-name }  
[ no-cspf ]
```

缺省情况下，使用自动计算的路径建立 CRLSP。

1.12 调整CRLSP的路径选择

1.12.1 功能简介

CSPF 使用 TEDB 和约束条件计算出符合要求的路径，并通过信令协议建立 CRLSP。MPLS TE 提供多种方式影响 CSPF 的计算，从而调整 CRLSP 的路径选择。

1.12.2 配置限制和指导

在实施本节的配置任务之前，需要明确理解这些配置对系统可能造成的影响，以免影响 CRLSP 的建立。

1.12.3 配置选路使用的度量

1. 功能简介

在 MPLS TE 中每条链路都具有两种度量值：IGP 度量值和 TE 度量值。通过合理地规划两种度量值，可以实现为不同种类的业务选择不同的隧道。例如，使用 IGP 度量值来表示链路延迟的大小（IGP 度量值越小，链路的延迟越小），使用 TE 度量值来表示链路带宽的大小（TE 度量值越小，链路的带宽越大）。建立两条 MPLS TE 隧道（Tunnel1 和 Tunnel2），分别用来承载语音业务和视频业务。Tunnel1 选择路径时使用 IGP 度量值，可以实现为延迟要求较高的语音业务选择延迟小的路径；Tunnel2 选择路径时使用 TE 度量值，可以实现为数据量较大的视频业务选择带宽大的路径。

隧道选路时使用的链路度量值类型可以在全局配置也可以在接口配置，如果在 Tunnel 接口视图下配置了链路度量值类型，则该隧道使用本接口下配置的度量值类型选择路径；否则，使用 MPLS TE 视图下全局配置的度量值类型选择路径。

在 Ingress 节点上全局配置隧道选路时使用的链路度量值类型。在 Ingress 节点的 Tunnel 接口上配置隧道选路时使用的链路度量值类型。

2. 全局配置隧道选路时使用的链路度量值类型

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入 MPLS TE 视图。

```
mpls te
```

- (3) 配置全局隧道选路时使用的链路度量值类型。

```
path-metric-type { igp | te }
```

缺省情况下，未配置度量类型的隧道选路时使用 TE 度量值。

3. 配置接口隧道选路时使用的链路度量值类型

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置接口隧道选路时使用的链路度量值类型。

```
mpls te path-metric-type { igp | te }
```

缺省情况下，没有指定隧道选路时使用的链路度量值类型，采用 MPLS TE 视图下配置的链路度量值类型。

4. 配置链路的TE度量值。

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入接口视图。

```
interface interface-type interface-number
```

- (3) 配置链路的 TE 度量值。

```
mpls te metric value
```

缺省情况下，链路使用其 IGP 度量作为 TE 的度量值。

在隧道经过的所有接口上配置链路的 TE 度量值。

1.12.4 配置路由固定

1. 功能简介

请在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上配置路由固定。

2. 配置限制和指导

如果使用路由固定功能，则不能同时使用 MPLS TE 隧道重优化功能。

3. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 开启路由固定功能。

```
mpls te route-pinning
```

缺省情况下，路由固定功能处于关闭状态。

1.12.5 配置隧道重优化

1. 功能简介

通过在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上配置隧道功能，周期性地或通过命令行手工触发隧道的 Ingress 节点重新计算路径。如果重计算的路径优于当前路径，则沿着计算出的路径创建一条新的 CRLSP，将流量从旧的 CRLSP 切换至新的 CRLSP 后，删除旧的 CRLSP。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 开启隧道重优化功能。

```
mpls te reoptimization [ frequency seconds ]
```

缺省情况下，隧道重优化功能处于关闭状态。

- (4) （可选）立即对所有开启了重优化功能的 MPLS TE 隧道进行重优化。

- a. 退回用户视图。

```
return
```

- b. 立即对所有开启了重优化功能的 MPLS TE 隧道进行重优化。

```
mpls te reoptimization
```

1.12.6 配置TE信息泛洪阈值及泛洪时间间隔

1. 功能简介

可以在 MPLS TE 隧道经过的所有节点上配置 TE 信息泛洪阈值及泛洪时间间隔。当 MPLS TE 相关链路的带宽发生变化时，需要通过 IGP 泛洪该信息，以便 Ingress 节点利用 CSPF 算法重新计算路径。

为防止链路带宽变化导致的 CSPF 计算占用过多资源，可以规定当带宽变化到达一定限度时才通过 IGP 泛洪链路的 TE 相关信息。用户可以进行两种配置：

- 当链路可预留带宽的增加值达到阈值时进行泛洪；
- 当链路可预留带宽的减少值达到阈值时进行泛洪。

如果配置了泛洪阈值，则没有及时泛洪的链路带宽变化，可以按照配置的时间间隔周期性地通告给网络中的设备。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入接口视图。

```
interface interface-type interface-number
```

- (3) 配置通过 IGP 泛洪 TE 信息的带宽变化阈值。

```
mpls te bandwidth change thresholds { down | up } percent
```

缺省情况下，通过 IGP 泛洪 TE 信息的带宽变化阈值为 10%，即可预留带宽增加或减少 10% 时进行 IGP 泛洪。

- (4) 退回系统视图。

```
quit
```

- (5) 进入 MPLS TE 视图。

```
mpls te
```

- (6) 设置通过 IGP 周期性泛洪 TE 信息的时间间隔。

```
link-management periodic-flooding timer interval
```

缺省情况下，通过 IGP 周期性泛洪 TE 信息的时间间隔为 180 秒。

1.13 调整 MPLS TE 隧道的建立

1.13.1 功能简介

可在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点上调整 MPLS TE 隧道的建立。

1.13.2 配置限制和指导

在实施本节的配置任务之前，需要明确理解这些配置对系统可能造成的影响，以免影响 MPLS TE 隧道的建立。

1.13.3 配置环路检测

1. 功能简介

配置隧道建立时进行环路检测后，将自动启动该隧道的路由记录功能，而不管用户是否配置了 `mpls te record-route` 命令。隧道经过的节点根据记录的路由信息，判断是否出现环路。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置隧道建立时进行环路检测。

```
mpls te loop-detection
```

缺省情况下，隧道建立时不进行环路检测。

1.13.4 配置记录路由和标签

1. 功能简介

路由记录和标签记录功能用来记录 MPLS TE 隧道经过的各个节点及各个节点分配的标签值，以便用户根据记录的信息了解 MPLS TE 隧道经过的路径和标签分配情况。在 MPLS TE 隧道出现故障时，用户也可以根据记录的信息对故障进行定位。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 开启隧道的路由记录或标签记录功能。

- 仅开启路由记录功能。

```
mpls te record-route
```

- 同时开启路由记录和标签记录功能。

```
mpls te record-route label
```

缺省情况下，隧道的路由记录和标签记录功能处于关闭状态。

1.13.5 配置隧道重建

1. 功能简介

MPLS TE 隧道建立失败后，隧道的 Ingress 节点等待隧道重建时间间隔后，将尝试重新建立隧道，直到隧道建立成功或尝试建立隧道的次数达到配置的最大值。如果尝试建立隧道的次数达到配置的最大值时仍未成功建立隧道，则等待较长的一段时间后，重复上述过程。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置尝试建立隧道的最大次数。

```
mpls te retry retries
```

缺省情况下，尝试建立隧道的最大次数为 3 次。

- (4) 配置隧道重建的时间间隔。

```
mpls te timer retry seconds
```

缺省情况下，隧道重建的时间间隔为 2 秒。

1.13.6 配置RSVP资源预留风格

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置隧道的资源预留风格。

```
mpls te resv-style { ff | se }
```

缺省情况下，隧道的资源预留风格为 SE。

在目前的 MPLS TE 应用中，隧道的建立通常采用 make-before-break 方式。因此，推荐使用 SE 资源预留风格。

1.14 配置MPLS TE隧道采用PCE计算的路径建立CRLSP

1.14.1 配置PCE

1. 功能简介

通过在 LSR 设备上配置 PCE 的 IP 地址，可将 LSR 设备配置为 PCE。如果未配置 PCE 的 IP 地址，则 LSR 设备只能作为 PCC，并使用 LSR ID 与 PCE 通信。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入 MPLS TE 视图。

```
mpls te
```

- (3) 配置 PCE 的 IP 地址。

```
pce address ip-address
```

缺省情况下，未配置 PCE 的 IP 地址。

1.14.2 配置PCE发现

1. 功能简介

可通过 **pce static** 命令静态指定 PCE 设备，也可通过 OSPF TE 自动发现 PCE 对等体。PCC 只能向 PCE 发起 PCEP 连接请求，不接受 PCE 的 PCEP 连接请求。

2. 静态指定PCE

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入 MPLS TE 视图。

```
mpls te
```

- (3) 静态指定 PCE 对等体的 IP 地址。

```
pce static ip-address
```

3. 动态发现PCE

配置 OSPF TE 后，OSPF TE 会将 PCE 的 IP 地址发布到网络中，以便 PCC 或其他 PCE 动态发现该 PCE，并与其建立 PCEP 会话。OSPF TE 的配置请参见“[1.9.3 配置 OSPF TE](#)”。

1.14.3 配置使用PCE计算路径

1. 功能简介

在 LSR 设备上通过 **mpls te path** 命令指定使用 PCE 计算的路径建立 CRLSP 后，该 LSR 设备即作为 PCC。

如果使用 `mpls te path` 命令或 `mpls te backup-path` 命令指定了 PCE 的 IP 地址，则仅与指定的 PCE 建立 PCEP 会话；否则与所有发现的 PCE 建立会话。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置使用 PCE 计算的路径建立 CRLSP。

```
mpls te path preference value dynamic pce [ ip-address ]&<0-8>
```

缺省情况下，使用 LSR 自动计算的路径建立 CRLSP。

1.14.4 配置PCEP会话参数

1. 功能简介

PCC 或 PCE 通过静态或动态方式发现 PCE 后，会与该 PCE 建立 PCEP 会话。通过本配置，可以根据网络情况调整 PCEP 会话参数。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入 MPLS TE 视图。

```
mpls te
```

- (3) 配置发送路径计算请求后等待应答的超时时间。

```
pce request-timeout value
```

缺省情况下，发送路径计算请求后等待应答的超时时间为 10 秒。

- (4) 配置 PCEP 会话的保持时间。

```
pce deadtimer value
```

缺省情况下，PCEP 会话的保持时间为 120 秒。

- (5) 配置 PCEP 会话的 Keepalive 消息的发送时间间隔。

```
pce keepalive interval
```

缺省情况下，Keepalive 消息的发送时间间隔为 30 秒。

- (6) 配置本地设备对 PCE 对等体发送的消息的容忍度。

```
pce tolerance { min-keepalive value | max-unknown-messages value }
```

缺省情况下，能接受的对等体发送 Keepalive 消息的最小时间间隔为 10 秒；每分钟能接受的对等体发送的最大未知类型消息个数为 5。

1.15 配置流量转发

1.15.1 配置静态路由使流量沿MPLS TE隧道转发

- (1) 进入系统视图。

system-view

- (2) 配置静态路由使流量沿 MPLS TE 隧道转发。

```
ip route-static { dest-address { mask-length | mask } | group group-name }  
{ interface-type interface-number [ next-hop-address ]  
[ backup-interface interface-type interface-number [ backup-nexthop  
backup-nexthop-address ] [ permanent ] | bfd { control-packet |  
echo-packet } | permanent | track track-entry-number ] |  
next-hop-address [ bfd control-packet bfd-source ip-address | permanent  
| track track-entry-number ] | vpn-instance d-vpn-instance-name  
next-hop-address [ bfd control-packet bfd-source ip-address | permanent  
| track track-entry-number ] } [ preference preference ] [ tag tag-value ]  
[ description text ]
```

本命令中指定的接口为 MPLS TE 隧道模式的 Tunnel 接口。

本配置中命令的详细介绍，请参见“三层技术-IP 路由命令参考”中的“静态路由”。

1.15.2 配置策略路由使流量沿MPLS TE隧道转发

1. 功能简介

本配置中各命令的详细介绍，请参见“三层技术-IP 路由命令参考”中的“策略路由”。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 创建策略节点，并进入策略节点视图。

```
policy-based-route policy-name [ deny | permit ] node node-number
```

- (3) 设置 ACL 匹配规则。

```
if-match acl { acl-number | name acl-name }
```

缺省情况下，未设置 ACL 匹配规则。

- (4) 设置报文的发送接口为 Tunnel 接口。

```
apply output-interface tunnel tunnel-number [ track  
track-entry-number ]
```

- (5) 退回系统视图。

```
quit
```

- (6) 应用策略路由。请选择其中一项进行配置。

- 开启本地策略路由。

```
ip local policy-based-route policy-name
```

- 对接口转发的报文应用策略。

```
interface interface-type interface-number
```

```
ip policy-based-route policy-name。
```

缺省情况下，没有应用策略路由。

1.15.3 配置自动路由发布使流量沿MPLS TE隧道转发

1. 配置限制和指导

使用自动路由发布功能时，需要注意以下事项：

- MPLS TE 隧道的目的地址可以配置为 Egress 节点的 LSR ID 或 Egress 节点上接口的主 IP 地址。配置为接口主 IP 地址时，要求该接口上必须使能 MPLS TE 能力，并配置 OSPF 或 IS-IS 路由协议，确保在该接口建立 OSPF 或 IS-IS 邻居关系，接口的主地址能够通过 OSPF 或 IS-IS 发布给邻居。推荐用户将 MPLS TE 隧道的目的地址配置为 Egress 节点的 LSR ID。
- Tunnel 接口地址和隧道目的地址对应的路由必须在同一个 OSPF 区域内或属于同一个 IS-IS Level。
- 要想使转发邻接功能生效，需要创建方向相反的两条隧道，并在隧道的两端同时配置转发邻接功能。

2. 配置准备

配置自动路由发布前，需要完成以下操作：

- 在 Tunnel 接口上开启 OSPF 或 IS-IS 路由协议，以便将该接口的地址发布到 IGP 协议（OSPF 或 ISIS）中。
- 在 OSPF 区域视图或 IS-IS 视图下，执行 `mpls te enable` 命令开启 OSPF 区域或 IS-IS 进程的 MPLS TE 能力。

3. 配置IGP Shortcut

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 开启 IGP Shortcut 功能。

```
mpls te igp shortcut [ isis | ospf ]
```

缺省情况下，IGP Shortcut 功能处于关闭状态。

如果开启 IGP Shortcut 功能时不指定 IGP 类型，则 OSPF 和 IS-IS 协议的路由计算中都考虑 MPLS TE 隧道。

- (4) 配置 MPLS TE 隧道的度量值。

```
mpls te igp metric { absolute value | relative value }
```

缺省情况下，MPLS TE 隧道的度量值等于其 IGP 度量值。

度量值类型	度量值
绝对度量 (absolute)	实际配置的值
相对度量 (relative)	IGP路径度量值加上相对度量值

4. 配置转发邻接

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 开启转发邻接功能。

```
mpls te igp advertise [ hold-time value ]
```

缺省情况下，转发邻接功能处于关闭状态。

1.16 配置MPLS TE双向隧道

1. 配置限制和指导

配置 MPLS TE 双向隧道时，需要在隧道的两端都建立 MPLS TE 隧道接口，并在隧道接口下开启双向隧道功能。

- 对于 Co-routed 方式双向隧道，隧道的两端需要分别配置为主动方（Active）和被动方（Passive），在被动方需要指定关联的反向 CRLSP。
- 对于 Associated 方式双向隧道，隧道的两端都需要指定关联的反向 CRLSP，只配置一端会导致 MPLS TE 双向隧道无法建立。
- 在 MPLS TE 隧道的 Ingress 节点和 Egress 上执行本配置。

2. 配置准备

在配置 MPLS TE 双向隧道之前，需完成以下任务：

- 在隧道两端都关闭 PHP 功能。
- 建立 Co-routed 方式 MPLS TE 双向隧道前，必须配置建立隧道使用的信令协议为 RSVP-TE。

3. 配置Co-routed方式MPLS TE双向隧道的主动方

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 在 MPLS TE 隧道接口上开启双向隧道功能，并指定本端为 Co-routed 方式 MPLS TE 双向隧道的主动方。

```
mpls te bidirectional co-routed active
```

缺省情况下，MPLS TE 隧道接口的双向隧道功能处于关闭状态，MPLS TE 隧道接口上建立的隧道为 MPLS TE 单向隧道。

4. 配置Co-routed方式MPLS TE双向隧道的被动方

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 在 MPLS TE 隧道接口上开启双向隧道功能，并指定本端为 Co-routed 方式 MPLS TE 双向隧道的被动方。

```
mpls te bidirectional co-routed passive reverse-lsp lsr-id  
ingress-lsr-id tunnel-id tunnel-id
```

缺省情况下，MPLS TE 隧道接口的双向隧道功能处于关闭状态，MPLS TE 隧道接口上建立的隧道为 MPLS TE 单向隧道。

5. 配置Associated方式MPLS TE双向隧道

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 在 MPLS TE 隧道接口上开启双向隧道功能，并指定双向隧道建立方式为 Associated 方式。

```
mpls te bidirectional associated reverse-lsp { lsp-name lsp-name |  
lsr-id ingress-lsr-id tunnel-id tunnel-id } }
```

缺省情况下，MPLS TE 隧道接口的双向隧道功能处于关闭状态，MPLS TE 隧道接口上建立的隧道为 MPLS TE 单向隧道。

1.17 配置CRLSP备份

1.17.1 功能简介

CRLSP 备份用于端到端的路径保护，对整条 CRLSP 提供保护。PCE 方式和 RSVP-TE 信令协议建立的 MPLS TE 隧道支持 CRLSP 备份。

1.17.2 配置RSVP TE方式建立备份路径

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 开启隧道的备份功能，并配置使用的备份模式。

```
mpls te backup { hot-standby | ordinary }
```

缺省情况下，隧道的备份功能处于关闭状态。

- (4) 配置主 CRLSP 应用的路径及路径的优先级。

```
mpls te path preference value { dynamic | explicit-path path-name }  
[ no-cspf ]
```

缺省情况下，使用自动计算的路径建立主 CRLSP。

- (5) 配置备份 CRLSP 应用的路径及路径的优先级。

```
mpls te backup-path preference value { dynamic | explicit-path  
path-name } [ no-cspf ]
```

```
mpls te backup-path preference value dynamic pce [ ip-address ]&<0-8>
```

缺省情况下，使用自动计算的路径建立备份 CRLSP。

1.17.3 配置使用PCE计算备份路径

1. 功能简介

在 LSR 设备上通过 `mpls te backup-path` 命令指定使用 PCE 计算的路径建立 CRLSP 后，该 LSR 设备即作为 PCC。

如果使用 `mpls te path` 命令或 `mpls te backup-path` 命令指定了 PCE 的 IP 地址，则仅与指定的 PCE 建立 PCEP 会话；否则与所有发现的 PCE 建立会话。

执行本配置后，PCE 为 PCC 计算备份的 CRLSP。当主 CRLSP 不可用时，将流量切换到备份的 CRLSP 上，以保证流量的正常传输。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 开启隧道的备份功能，并配置使用的备份模式。

```
mpls te backup { hot-standby | ordinary }
```

缺省情况下，隧道的备份功能处于关闭状态。

- (4) 配置使用 PCE 计算的路径建立备份 CRLSP。

```
mpls te backup-path preference value dynamic pce [ ip-address ]&<0-8>
```

缺省情况下，使用 LSR 自动计算的路径建立备份 CRLSP。

1.18 配置MPLS TE快速重路由

1.18.1 配置限制和指导

FRR 是 MPLS TE 中的临时性局部保护技术。配置 FRR 时需要注意：

- 建议不要在同一个接口同时配置快速重路由功能和 RSVP 认证功能。
- 只有使用 RSVP-TE 信令协议建立的 MPLS TE 隧道支持 FRR 功能。
- 如果同时配置了 MPLS TE 双向隧道和快速重路由功能，快速重路由功能不生效。

1.18.2 开启快速重路由功能

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入主 CRLSP 对应的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 开启快速重路由功能。

```
mpls te fast-reroute
```

缺省情况下，快速重路由功能处于关闭状态。

1.18.3 在PLR上配置Bypass隧道

1. 功能简介

配置快速重路由时，需要在 PLR 上配置 Bypass 隧道。Bypass 隧道的配置方式有如下两种：

- 手工配置 Bypass 隧道：在 PLR 上创建一条 MPLS TE 隧道，该 MPLS TE 隧道作为主 CRLSP 的 Bypass 隧道。在主 CRLSP 的出接口上将该 Bypass 隧道与出接口绑定。当出接口连接的链路或节点出现故障时，可将流量切换到 Bypass 隧道转发，以避免流量中断。
- 自动创建 Bypass 隧道：在 PLR 上开启自动隧道备份功能后，PLR 为经过它的所有主 CRLSP 都自动建立一条链路保护的 Bypass 隧道和一条节点保护的 Bypass 隧道。自动创建 Bypass 隧道可以简化配置，该功能又称为自动快速重路由（auto FRR）功能。一条自动创建的 Bypass 隧道可以与多条主隧道绑定。

手工为主 CRLSP 配置 Bypass 隧道或为主 CRLSP 自动建立 Bypass 隧道后，该 Bypass 隧道将与主 CRLSP 关联。一条主 CRLSP 同时最多可以与 3 条手工创建的 Bypass 隧道和 2 条自动创建的 Bypass 隧道关联，PLR 从中选择一条 Bypass 隧道保护主 CRLSP，即为主 CRLSP 绑定该 Bypass 隧道。

PLR 为主 CRLSP 选择 Bypass 隧道时，优先选择手工创建的 Bypass 隧道。如果不存在手工创建的 Bypass 隧道，则选择自动创建的 Bypass 隧道，且自动创建的节点保护类型的 Bypass 隧道优于链路保护类型的 Bypass 隧道。

如果 PLR 上同时存在多条手工配置的 Bypass 隧道，则根据主 CRLSP 所需带宽、主 CRLSP 是否需要进行带宽保护和 Bypass 隧道能否提供带宽保护来选择 Bypass 隧道，且节点保护的 Bypass 隧道优于链路保护的 Bypass 隧道、编号小的 Bypass 隧道优于编号大的 Bypass 隧道。

2. 配置限制和指导

手工配置和自动创建的 Bypass 隧道均暂不支持提供带宽保护，即可以保护所有 CT 类型，且不限保护带宽。

配置 Bypass 隧道时，请根据如下原则进行带宽规划：

- 由于 FRR 使用的 Bypass 隧道需要预先建立，占用额外的带宽，因此，在网络带宽余量不多的情况下，应该只对关键的接口或链路进行快速重路由保护。
- 用户在配置时应保证 Bypass 隧道的带宽不小于被保护的所有主 CRLSP 所需带宽之和，否则可能导致部分主 CRLSP 不能被 Bypass 隧道保护。
- Bypass 隧道一般不转发数据。如果 Bypass 隧道在保护主 CRLSP 的同时转发流量，需要为 Bypass 隧道提供足够的带宽。

Bypass 隧道上具有如下配置限制：

- Bypass 隧道不能作为 VPN 等业务的承载隧道。
- 不能为 Bypass 隧道配置快速重路由功能。也就是说，Bypass 隧道不能同时作为主 CRLSP 被其他 Bypass 隧道保护，隧道不能被嵌套保护。
- Bypass 隧道不能经过被保护的接口或节点。

自动创建 Bypass 隧道时，需要注意：

- 对于设备上自动生成的接口（例如 VA 接口等），仅支持自动快速重路由保护。
- 倒数第二跳节点作为 PLR 时，不会自动创建节点保护类型的 Bypass 隧道。

3. 手工配置Bypass隧道

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 创建 Bypass 隧道。

Bypass隧道的建立方法与普通MPLS TE隧道相同，具体方法请参见“[1.2.1 静态建立CRLSP](#)”、“[1.2.2 动态建立CRLSP](#)”或“[1.2.3 采用PCE计算的路径建立CRLSP](#)”。

- (3) 进入 Bypass 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (4) 配置 Bypass 隧道的目的地址。

```
destination ip-address
```

隧道的目的地址应配置为 MP 设备的 LSR ID。

- (5) 配置 Bypass 隧道可以保护所有 CT 类型，且不限保护带宽。

```
mpls te backup bandwidth un-limited
```

缺省情况下，未指定 Bypass 隧道可以保护的带宽和 CT 类型。

必须使用本命令配置 Bypass 隧道可以保护所有 CT 类型，且不限保护带宽。否则，将导致主 CRLSP 不能绑定到 Bypass 隧道。

- (6) 退回系统视图。

```
quit
```

- (7) 进入主 CRLSP 出接口的接口视图。

```
interface interface-type interface-number
```

- (8) 为被保护的接口指定一条 Bypass 隧道。

```
mpls te fast-reroute bypass-tunnel tunnel tunnel-number
```

4. 自动创建Bypass隧道

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入 MPLS TE 视图。

```
mpls te
```

- (3) 全局开启自动隧道备份功能，并进入 MPLS TE 自动隧道备份视图。

```
auto-tunnel backup
```

缺省情况下，自动隧道备份功能处于全局关闭状态。

- (4) 配置自动创建的 Bypass 隧道的接口编号范围。

```
tunnel-number min min-number max max-number
```

缺省情况下，未指定自动创建 Bypass 隧道的接口编号范围，不能自动创建 Bypass 隧道。

全局开启自动隧道备份功能后，必须配置本命令，才能自动建立 Bypass 隧道。

- (5) （可选）配置仅自动创建链路保护类型的 Bypass 隧道。

```
nhop-only
```

缺省情况下，链路保护和节点保护的 Bypass 隧道都会自动创建。

配置本命令后，已自动创建的节点保护类型的 Bypass 隧道会被删除。

- (6) (可选) 配置空闲 Bypass 隧道的自动清除时间。

```
timers removal unused seconds
```

缺省情况下, 空闲 Bypass 隧道的自动清除时间为 3600 秒。

未与任何主隧道绑定的 Bypass 隧道称为空闲 Bypass 隧道, 空闲 Bypass 隧道在自动清除时间超时时仍未被绑定, 则会被自动清除。

- (7) (可选) 关闭接口的自动隧道备份功能。

- a. 退回系统视图。

```
quit
```

- b. 进入接口视图。

```
interface interface-type interface-number
```

- c. 关闭接口的自动隧道备份功能。

```
mpls te auto-tunnel backup disable
```

缺省情况下, 全局开启了自动隧道备份功能后, 所有使能 RSVP 能力的接口都会开启自动隧道备份功能, 允许自动创建 Bypass 隧道。

配置本命令后, 已自动创建的保护该接口的 Bypass 隧道会被删除。

1.18.4 配置节点故障检测

1. 功能简介

如果使用 FRR 进行节点保护, 则在 PLR 和被保护节点上可以进行本配置, 以便通过 Hello 机制或 BFD 检测到节点故障; 如果只是进行链路保护, 则不必进行本配置。

对于 PLR 和被保护节点之间链路故障引发的节点失效, 不需要使用 RSVP 的 Hello 机制或 BFD 来进行节点故障检测。本配置主要用于在链路正常但信令协议故障的特殊情况下检测节点故障。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入 PLR 与被保护节点直连接口的接口视图。

```
interface interface-type interface-number
```

- (3) 配置节点故障检测。请选择其中一项进行配置。

- o 开启 RSVP 的 Hello 扩展功能。

```
rsvp hello enable
```

缺省情况下, RSVP 的 Hello 扩展功能处于关闭状态

- o 配置通过 BFD 检测本地设备和 RSVP 邻居之间链路的状态。

```
rsvp bfd enable
```

缺省情况下, 会通过 BFD 检测本地设备和 RSVP 邻居之间链路的状态。

rsvp hello enable 和 **rsvp bfd enable** 命令的详细介绍, 请参见“MPLS 配置指导”中的“RSVP”。

1.18.5 配置快速重路由的Bypass隧道优选时间间隔

1. 功能简介

如果为一条主 CRLSP 指定了多条 Bypass 隧道，MPLS TE 会从中选择一条最优的 Bypass 隧道，当主 CRLSP 出现故障时，将流量切换到该 Bypass 隧道转发。在某些情况下（如 Bypass 隧道的可预留带宽发生变化），当前的最优隧道可能不是之前选中的 Bypass 隧道。因此，MPLS TE 需要周期性地选择最优的 Bypass 隧道。通过本配置可以调整 Bypass 隧道优选的周期。

请在 PLR 节点上进行本配置。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入 MPLS TE 视图。

```
mpls te
```

- (3) 配置在多条 Bypass 隧道中进行优选的时间间隔。

```
fast-reroute timer interval
```

缺省情况下，在多条 Bypass 隧道中进行优选的时间间隔为 300 秒。

1.19 配置CBTS

1. 配置准备

配置 CBTS 前需要先配置 QoS 流行为，标记流量的隧道转发类，具体配置请参见“ACL 和 QoS 配置指导”中的“QoS”。

2. 配置步骤

- (1) 进入系统视图。

```
system-view
```

- (2) 进入模式为 MPLS TE 隧道的 Tunnel 接口视图。

```
interface tunnel tunnel-number [ mode mpls-te ]
```

- (3) 配置隧道转发类。

```
mpls te service-class service-class-value
```

缺省情况下，没有配置隧道转发类。

1.20 开启告警功能

1. 功能简介

开启 MPLS TE 模块的告警功能后，当 MPLS TE 状态发生变化时会产生 RFC 3812 中规定的告警信息。生成的告警信息将发送到设备的 SNMP 模块，通过设置 SNMP 中告警信息的发送参数，来决定告警信息输出的相关属性。

有关告警信息的详细介绍，请参见“网络管理和监控配置指导”中的“SNMP”。

2. 配置步骤

(1) 进入系统视图。

```
system-view
```

(2) 开启 MPLS TE 模块的告警功能。

```
snmp-agent trap enable te
```

缺省情况下，MPLS TE 模块的告警功能处于关闭状态。

1.21 MPLS TE显示和维护

在完成上述配置后，在任意视图下执行 **display** 命令可以显示配置后 MPLS TE 的运行情况，通过查看显示信息验证配置的效果。

在用户视图下执行 **reset** 命令可以清除 MPLS TE 统计信息。

表1-2 MPLS TE 的显示和维护

操作	命令
显示显式路径的信息	<code>display explicit-path [path-name]</code>
显示IS-IS TEDB中的链路和节点信息	<code>display isis mpls te advertisement [[level-1 level-2] [originate-system system-id local] verbose] * [process-id]</code>
显示IS-IS TE配置的子TLV类型值信息	<code>display isis mpls te configured-sub-tlvs [process-id]</code>
显示IS-IS TEDB中的网络信息	<code>display isis mpls te network [[level-1 level-2] local lsp-id lsp-id] * [process-id]</code>
显示IS-IS 的Tunnel接口信息	<code>display isis mpls te tunnel [level-1 level-2] [process-id]</code>
显示DS-TE相关信息	<code>display mpls te ds-te</code>
显示开启了MPLS TE的接口上的带宽相关信息	<code>display mpls te link-management bandwidth-allocation [interface interface-type interface-number]</code>
显示设备已发现的PCE的信息	<code>display mpls te pce discovery [ip-address] [verbose]</code>
显示PCC或PCE对等体的信息	<code>display mpls te pce peer [ip-address] [verbose]</code>
显示PCC或PCE的统计信息	<code>display mpls te pce statistics [ip-address]</code>
显示MPLS TEDB信息	<code>display mpls te tedb { { isis { level-1 level-2 } ospf area area-id } link ip-address network node [local mpls-lsr-id] summary }</code>
显示MPLS TE隧道接口的信息	<code>display mpls te tunnel-interface [tunnel number]</code>
显示OSPF TEDB中的链路和节点信息	<code>display ospf [process-id] [area area-id] mpls te advertisement [originate-router advertising-router-id self-originate]</code>
显示OSPF TEDB中的Network信息	<code>display ospf [process-id] [area area-id] mpls te network [originate-router advertising-router-id self-originate]</code>

操作	命令
显示OSPF发现的PCE信息	<code>display ospf [process-id] [area area-id] mpls te pce [originate-router advertising-router-id self-originate]</code>
显示OSPF的Tunnel接口信息	<code>display ospf [process-id] [area area-id] mpls te tunnel</code>
清除PCC或PCE统计信息	<code>reset mpls te pce statistics [ip-address]</code>

1.22 MPLS TE典型配置举例

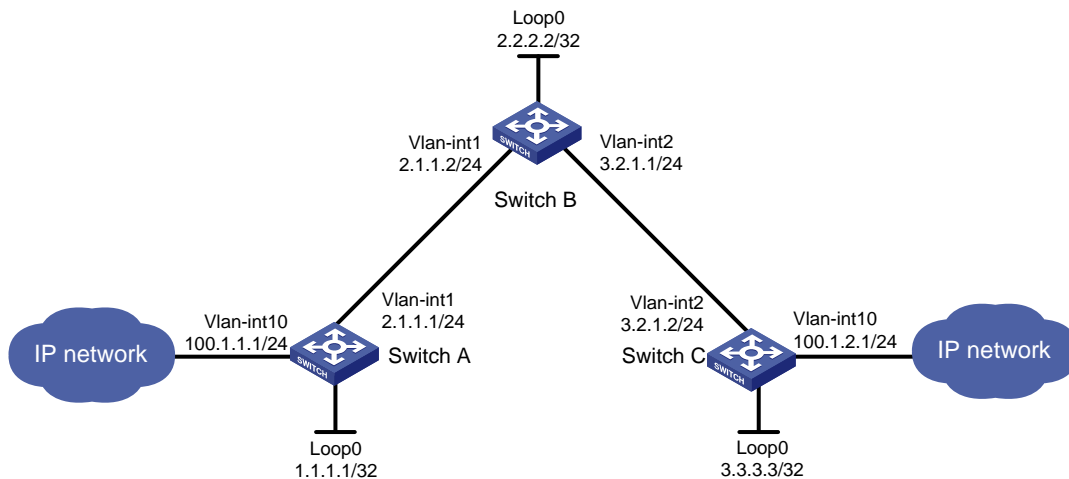
1.22.1 使用静态CRLSP配置MPLS TE隧道示例

1. 组网需求

- 设备 Switch A、Switch B 和 Switch C 运行 IS-IS;
- 使用静态 CRLSP 建立一条 Switch A 到 Switch C 的 MPLS TE 隧道，实现两个 IP 网络通过 MPLS TE 隧道传输数据流量，该隧道需要的带宽为 2000kbps;
- 隧道沿途的链路最大带宽为 10000kbps，最大可预留带宽为 5000kbps。

2. 组网图

图1-9 静态 CRLSP 配置组网图



3. 配置步骤

(1) 配置各接口的 IP 地址

按照 图 1-9 配置各接口的IP地址和掩码，具体配置过程略。

(2) 配置 IS-IS 协议发布接口所在网段的路由，包括 Loopback 接口

配置 Switch A。

```
<SwitchA> system-view
[SwitchA] isis 1
[SwitchA-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0001.00
```

```

[SwitchA-isis-1] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] isis enable 1
[SwitchA-Vlan-interface1] quit
[SwitchA] interface loopback 0
[SwitchA-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchA-LoopBack0] quit
# 配置 Switch B。
<SwitchB> system-view
[SwitchB] isis 1
[SwitchB-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0002.00
[SwitchB-isis-1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] isis enable 1
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] isis enable 1
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
[SwitchB] interface loopback 0
[SwitchB-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchB-LoopBack0] quit

```

配置 Switch C。

```

<SwitchC> system-view
[SwitchC] isis 1
[SwitchC-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0003.00
[SwitchC-isis-1] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] isis enable 1
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
[SwitchC] interface loopback 0
[SwitchC-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchC-LoopBack0] quit

```

配置完成后，在各设备上执行 **display ip routing-table** 命令，可以看到相互之间都学到了到对方的路由，包括 Loopback 接口对应的主机路由。

(3) 配置 LSR ID、开启 MPLS 能力和 MPLS TE 能力

配置 Switch A。

```

[SwitchA] mpls lsr-id 1.1.1.1
[SwitchA] mpls te
[SwitchA-te] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchA-Vlan-interface1] quit

```

配置 Switch B。

```

[SwitchB] mpls lsr-id 2.2.2.2
[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] quit

```

```
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
```

配置 Switch C。

```
[SwitchC] mpls lsr-id 3.3.3.3
[SwitchC] mpls te
[SwitchC-te] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
```

(4) 配置链路的 MPLS TE 属性

在 Switch A 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchA-Vlan-interface1] quit
```

在 Switch B 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
```

在 Switch C 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
```

(5) 配置 MPLS TE 隧道

在 Switch A 上配置 MPLS TE 隧道 Tunnel1：目的地址为 Switch C 的 LSR ID (3.3.3.3)；采用静态 CRLSP 建立 MPLS TE 隧道。

```
[SwitchA] interface tunnel 1 mode mpls-te
[SwitchA-Tunnel1] ip address 6.1.1.1 255.255.255.0
[SwitchA-Tunnel1] destination 3.3.3.3
[SwitchA-Tunnel1] mpls te signaling static
[SwitchA-Tunnel1] quit
```

(6) 创建静态 CRLSP

配置 Switch A 为静态 CRLSP 的 Ingress 节点，下一跳地址为 2.1.1.2，出标签为 20，隧道所需的带宽为 2000kbps。

```
[SwitchA] static-cr-lsp ingress static-cr-lsp-1 nexthop 2.1.1.2 out-label 20 bandwidth 2000
```

在 Switch A 上配置隧道 Tunnel1 引用名称为 static-cr-lsp-1 的静态 CRLSP。

```
[SwitchA] interface Tunnel1
[SwitchA-Tunnel1] mpls te static-cr-lsp static-cr-lsp-1
[SwitchA-Tunnel1] quit
```

配置 Switch B 为静态 CRLSP 的 Transit 节点，入标签为 20，下一跳地址为 3.2.1.2，出标签为 30，隧道所需的带宽为 2000kbps。

```
[SwitchB] static-cr-lsp transit static-cr-lsp-1 in-label 20 nexthop 3.2.1.2 out-label 30 bandwidth 2000
```

配置 Switch C 为静态 CRLSP 的 Egress 节点，入标签为 30。

```
[SwitchC] static-cr-lsp egress static-cr-lsp-1 in-label 30
```

(7) 配置静态路由使流量沿 MPLS TE 隧道转发

在 Switch A 上配置静态路由，使得到达网络 100.1.2.0/24 的流量通过 MPLS TE 隧道接口 Tunnel1 转发。

```
[SwitchA] ip route-static 100.1.2.0 24 tunnel 1 preference 1
```

4. 验证配置

配置完成后，在 Switch A 上执行 **display interface tunnel** 命令，可以看到 Tunnel 接口的状态为 up。

```
[SwitchA] display interface tunnel
Tunnel1
Current state: UP
Line protocol state: UP
Description: Tunnel1 Interface
Bandwidth: 64kbps
Maximum transmission unit: 1496
Internet address: 6.1.1.1/24 (primary)
Tunnel source unknown, destination 3.3.3.3
Tunnel TTL 255
Tunnel protocol/transport CR_LSP
Output queue - Urgent queuing: Size/Length/Discards 0/100/0
Output queue - Protocol queuing: Size/Length/Discards 0/500/0
Output queue - FIFO queuing: Size/Length/Discards 0/75/0
Last clearing of counters: Never
Last 300 seconds input rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Last 300 seconds output rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Input: 0 packets, 0 bytes, 0 drops
Output: 0 packets, 0 bytes, 0 drops
```

在 Switch A 上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令，可以看到 MPLS TE 隧道的建立情况。

```
[SwitchA] display mpls te tunnel-interface
Tunnel Name          : Tunnel 1
Tunnel State         : Up (Main CRLSP up)
```

```

Tunnel Attributes      :
  LSP ID               : 1                Tunnel ID             : 0
  Admin State          : Normal
  Ingress LSR ID       : 1.1.1.1         Egress LSR ID         : 3.3.3.3
  Signaling             : Static           Static CRLSP Name     : static-cr-lsp-1
  Static SRLSP Name    : -
  Resv Style           : -
  Tunnel mode          : -
  Reverse-LSP name     : -
  Reverse-LSP LSR ID   : -                Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type           : -                Tunnel Bandwidth      : -
  Reserved Bandwidth   : -
  Setup Priority        : 0                Holding Priority      : 0
  Affinity Attr/Mask   : -/-
  Explicit Path        : -
  Backup Explicit Path : -
  Metric Type          : TE
  Record Route         : -                Record Label          : -
  FRR Flag             : -                Bandwidth Protection  : -
  Backup Bandwidth Flag: -                Backup Bandwidth Type: -
  Backup Bandwidth     : -
  Bypass Tunnel        : -                Auto Created          : -
  Route Pinning        : -
  Retry Limit          : 3                Retry Interval        : 2 sec
  Reoptimization       : -                Reoptimization Freq   : -
  Backup Type          : -                Backup LSP ID         : -
  Auto Bandwidth       : -                Auto Bandwidth Freq   : -
  Min Bandwidth        : -                Max Bandwidth         : -
  Collected Bandwidth : -                Service-Class         : -

```

在各设备上执行 **display mpls lsp** 或 **display mpls static-cr-lsp** 命令，可以看到静态 CRLSP 的建立情况。

```

[SwitchA] display mpls lsp
FEC                Proto    In/Out Label    Interface/Out NHLFE
1.1.1.1/0/1        StaticCR -/20          Vlan1
2.1.1.2            Local    -/-            Vlan1
Tunnell            Local    -/-            NHLFE1025
[SwitchB] display mpls lsp
FEC                Proto    In/Out Label    Interface/Out NHLFE
-                  StaticCR 20/30        Vlan2
3.2.1.2            Local    -/-            Vlan2
[SwitchC] display mpls lsp
FEC                Proto    In/Out Label    Interface/Out NHLFE
-                  StaticCR 30/-          -
[SwitchA] display mpls static-cr-lsp
Name                LSR Type  In/Out Label    Out Interface    State
static-cr-lsp-1    Ingress   Null/20         Vlan1             Up
[SwitchB] display mpls static-cr-lsp
Name                LSR Type  In/Out Label    Out Interface    State

```



```
static-cr-lsp-1 Transit      20/30          Vlan2          Up
[SwitchC] display mpls static-cr-lsp
Name           LSR Type      In/Out Label   Out Interface  State
static-cr-lsp1 Egress        30/Null       -              -              Up
```

在 Switch A 上执行 **display ip routing-table** 命令，可以看到路由表中有以 Tunnel1 为出接口的静态路由信息。

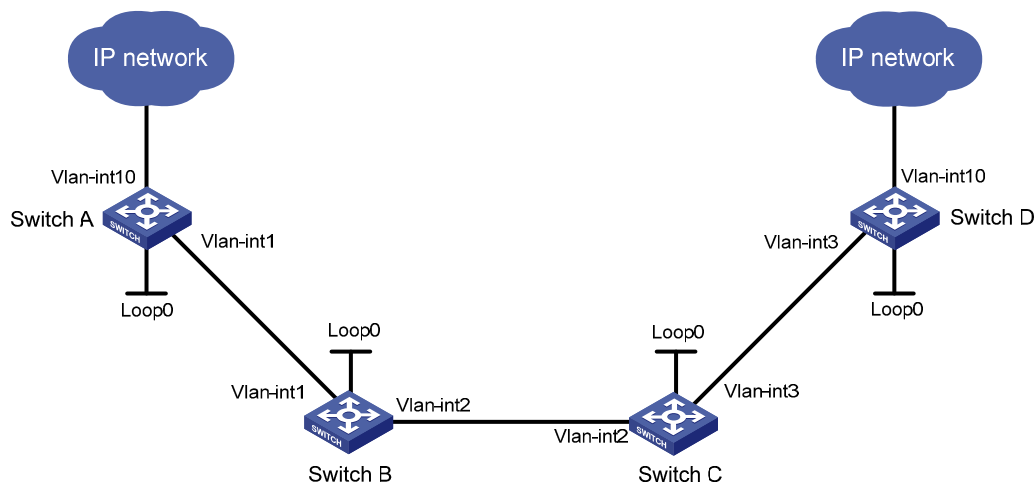
1.22.2 使用RSVP-TE配置MPLS TE隧道示例

1. 组网需求

- 设备 Switch A、Switch B、Switch C 和 Switch D 运行 IS-IS，都是 Level-2 设备；
- 使用 RSVP-TE 建立一条从 Switch A 到 Switch D 的 MPLS TE 隧道，实现两个 IP 网络通过 MPLS TE 隧道传输数据流量，该隧道需要的带宽为 2000kbps；
- 隧道沿途的链路最大带宽为 10000kbps，最大可预留带宽为 5000kbps。

2. 组网图

图1-10 RSVP-TE 配置 MPLS TE 隧道组网图



设备	接口	IP地址	设备	接口	IP地址
Switch A	Loop0	1.1.1.9/32	Switch D	Loop0	4.4.4.9/32
	Vlan-int1	10.1.1.1/24		Vlan-int3	30.1.1.2/24
	Vlan-int10	100.1.1.1/24		Vlan-int10	100.1.2.1/24
Switch B	Loop0	2.2.2.9/32	Switch C	Loop0	3.3.3.9/32
	Vlan-int1	10.1.1.2/24		Vlan-int3	30.1.1.1/24
	Vlan-int2	20.1.1.1/24		Vlan-int2	20.1.1.2/24

3. 配置步骤

(1) 配置各接口的 IP 地址

按照 [图 1-10](#) 配置各接口的 IP 地址和掩码，具体配置过程略。

(2) 配置 IS-IS 协议发布接口所在网段的路由，包括 Loopback 接口

配置 Switch A。

```
<SwitchA> system-view
[SwitchA] isis 1
[SwitchA-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0001.00
[SwitchA-isis-1] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interfacel] isis enable 1
[SwitchA-Vlan-interfacel] isis circuit-level level-2
[SwitchA-Vlan-interfacel] quit
[SwitchA] interface loopback 0
[SwitchA-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchA-LoopBack0] isis circuit-level level-2
[SwitchA-LoopBack0] quit
```

配置 Switch B。

```
<SwitchB> system-view
[SwitchB] isis 1
[SwitchB-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0002.00
[SwitchB-isis-1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interfacel] isis enable 1
[SwitchB-Vlan-interfacel] isis circuit-level level-2
[SwitchB-Vlan-interfacel] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] isis enable 1
[SwitchB-Vlan-interface2] isis circuit-level level-2
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
[SwitchB] interface loopback 0
[SwitchB-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchB-LoopBack0] isis circuit-level level-2
[SwitchB-LoopBack0] quit
```

配置 Switch C。

```
<SwitchC> system-view
[SwitchC] isis 1
[SwitchC-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0003.00
[SwitchC-isis-1] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 3
[SwitchC-Vlan-interface3] isis enable 1
[SwitchC-Vlan-interface3] isis circuit-level level-2
[SwitchC-Vlan-interface3] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] isis enable 1
[SwitchC-Vlan-interface2] isis circuit-level level-2
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
[SwitchC] interface loopback 0
[SwitchC-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchC-LoopBack0] isis circuit-level level-2
[SwitchC-LoopBack0] quit
```

配置 Switch D。

```
<SwitchD> system-view
```

```

[SwitchD] isis 1
[SwitchD-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0004.00
[SwitchD-isis-1] quit
[SwitchD] interface vlan-interface 3
[SwitchD-Vlan-interface3] isis enable 1
[SwitchD-Vlan-interface3] isis circuit-level level-2
[SwitchD-Vlan-interface3] quit
[SwitchD] interface loopback 0
[SwitchD-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchD-LoopBack0] isis circuit-level level-2
[SwitchD-LoopBack0] quit

```

配置完成后，在各设备上执行 **display ip routing-table** 命令，可以看到相互之间都学到了对方的路由，包括 Loopback 接口对应的主机路由。

(3) 配置 LSR ID，开启 MPLS、MPLS TE 和 RSVP-TE 能力

配置 Switch A。

```

[SwitchA] mpls lsr-id 1.1.1.9
[SwitchA] mpls te
[SwitchA-te] quit
[SwitchA] rsvp
[SwitchA-rsvp] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchA-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchA-Vlan-interface1] quit

```

配置 Switch B。

```

[SwitchB] mpls lsr-id 2.2.2.9
[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] quit
[SwitchB] rsvp
[SwitchB-rsvp] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface2] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface2] quit

```

配置 Switch C。

```

[SwitchC] mpls lsr-id 3.3.3.9
[SwitchC] mpls te
[SwitchC-te] quit
[SwitchC] rsvp
[SwitchC-rsvp] quit

```

```
[SwitchC] interface vlan-interface 3
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls enable
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls te enable
[SwitchC-Vlan-interface3] rsvp enable
[SwitchC-Vlan-interface3] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchC-Vlan-interface2] rsvp enable
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
```

配置 Switch D。

```
[SwitchD] mpls lsr-id 4.4.4.9
[SwitchD] mpls te
[SwitchD-te] quit
[SwitchD] rsvp
[SwitchD-rsvp] quit
[SwitchD] interface vlan-interface 3
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls enable
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls te enable
[SwitchD-Vlan-interface3] rsvp enable
[SwitchD-Vlan-interface3] quit
```

(4) 配置 IS-IS TE

配置 Switch A。

```
[SwitchA] isis 1
[SwitchA-isis-1] cost-style wide
[SwitchA-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchA-isis-1] quit
```

配置 Switch B。

```
[SwitchB] isis 1
[SwitchB-isis-1] cost-style wide
[SwitchB-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchB-isis-1] quit
```

配置 Switch C。

```
[SwitchC] isis 1
[SwitchC-isis-1] cost-style wide
[SwitchC-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchC-isis-1] quit
```

配置 SwitchD。

```
[SwitchD] isis 1
[SwitchD-isis-1] cost-style wide
[SwitchD-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchD-isis-1] quit
```

(5) 配置链路的 MPLS TE 属性

在 Switch A 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interfacel] mpls te max-link-bandwidth 10000
```

```
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchA-Vlan-interface1] quit
```

在 Switch B 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
```

在 Switch C 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchC] interface vlan-interface 3
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchC-Vlan-interface3] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
```

在 Switch D 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchD] interface vlan-interface 3
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchD-Vlan-interface3] quit
```

(6) 配置 MPLS TE 隧道

在 Switch A 上配置 MPLS TE 隧道 Tunnel1：目的地址为 Switch D 的 LSR ID（4.4.4.9）；采用 RSVP-TE 信令协议建立 MPLS TE 隧道；隧道所需的带宽为 2000kbps。

```
[SwitchA] interface tunnel 1 mode mpls-te
[SwitchA-Tunnel1] ip address 7.1.1.1 255.255.255.0
[SwitchA-Tunnel1] destination 4.4.4.9
[SwitchA-Tunnel1] mpls te signaling rsvp-te
[SwitchA-Tunnel1] mpls te bandwidth 2000
[SwitchA-Tunnel1] quit
```

(7) 配置静态路由使流量沿 MPLS TE 隧道转发

在 Switch A 上配置静态路由，使得到达网络 100.1.2.0/24 的流量通过 MPLS TE 隧道接口 Tunnel1 转发。

```
[SwitchA] ip route-static 100.1.2.0 24 tunnel 1 preference 1
```

4. 验证配置

配置完成后，在 Switch A 上执行 **display interface tunnel** 命令可以看到隧道接口状态为 up。

```
[SwitchA] display interface tunnel
Tunnel1
Current state: UP
Line protocol state: UP
```

```

Description: Tunnel1 Interface
Bandwidth: 64kbps
Maximum transmission unit: 1496
Internet address: 7.1.1.1/24 (primary)
Tunnel source unknown, destination 4.4.4.9
Tunnel TTL 255
Tunnel protocol/transport CR_LSP
Last clearing of counters: Never
Last 300 seconds input rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Last 300 seconds output rate: 6 bytes/sec, 48 bits/sec, 0 packets/sec
Input: 0 packets, 0 bytes, 0 drops
Output: 177 packets, 11428 bytes, 0 drops

```

在 Switch A 上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令可以看到隧道的详细信息。

```

[SwitchA] display mpls te tunnel-interface
Tunnel Name           : Tunnel 1
Tunnel State          : Up (Main CRLSP up. Shared-resource CRLSP down)
Tunnel Attributes     :
  LSP ID               : 23331           Tunnel ID              : 1
  Admin State          : Normal
  Ingress LSR ID       : 1.1.1.9         Egress LSR ID         : 4.4.4.9
  Signaling            : RSVP-TE         Static CRLSP Name      : -
  Resv Style           : SE
  Tunnel mode          : -
  Reverse-LSP name     : -
  Reverse-LSP LSR ID  : -               Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type           : CT0             Tunnel Bandwidth       : 2000 kbps
  Reserved Bandwidth   : 2000 kbps
  Setup Priority        : 7               Holding Priority        : 7
  Affinity Attr/Mask   : 0/0
  Explicit Path        : -
  Backup Explicit Path : -
  Metric Type          : TE
  Record Route         : Disabled        Record Label           : Disabled
  FRR Flag             : Disabled        Bandwidth Protection   : Disabled
  Backup Bandwidth Flag: Disabled        Backup Bandwidth Type  : -
  Backup Bandwidth     : -
  Bypass Tunnel        : No              Auto Created           : No
  Route Pinning        : Disabled
  Retry Limit          : 10              Retry Interval         : 2 sec
  Reoptimization      : Disabled        Reoptimization Freq    : -
  Backup Type          : None            Backup LSP ID          : -
  Auto Bandwidth       : Disabled        Auto Bandwidth Freq    : -
  Min Bandwidth        : -               Max Bandwidth          : -
  Collected Bandwidth : -              Service-Class          : -

```

在 Switch A 上执行 **display ip routing-table** 命令，可以看到路由表中有以 Tunnel1 为出接口的静态路由信息。

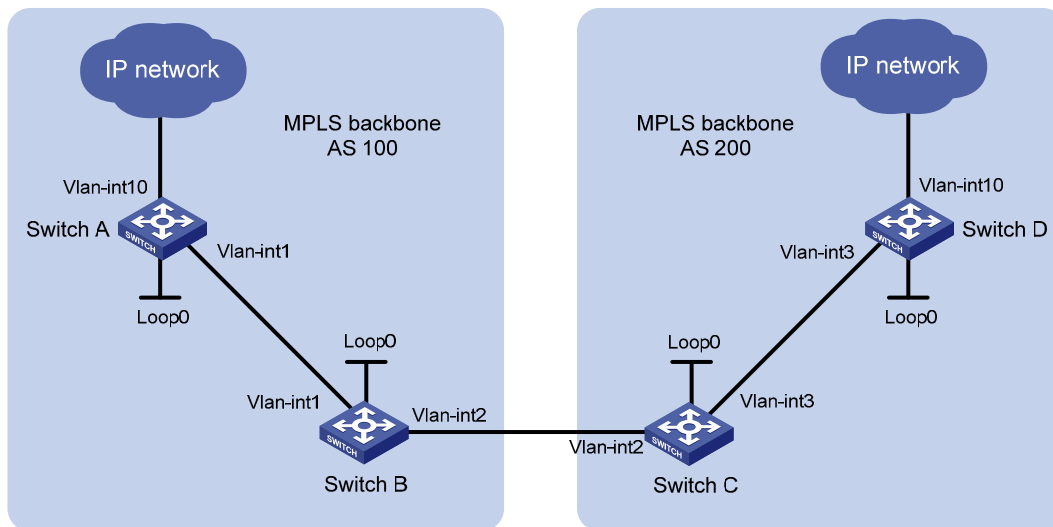
1.22.3 使用RSVP-TE配置跨域的MPLS TE隧道示例

1. 组网需求

- Switch A 和 Switch B 位于 AS 100 内，AS 100 内使用 OSPF 作为 IGP 协议。
- Switch C 和 Switch D 位于 AS 200 内，AS 200 内使用 OSPF 作为 IGP 协议。
- 在作为 ASBR 的 Switch B 和 Switch C 之间建立 EBGP 连接，配置 BGP 引入 OSPF 路由，OSPF 进程引入 BGP 路由，使得 AS 100 和 AS 200 之间路由可达。
- 使用 RSVP-TE 从 Switch A 到 Switch D 建立一条跨域的 MPLS TE 隧道，实现两个 IP 网络通过 MPLS TE 隧道传输数据流量，该隧道所需的带宽为 2000kbps。
- 隧道沿途的链路最大带宽为 10000kbps，最大可预留带宽为 5000kbps。

2. 组网图

图1-11 使用 RSVP-TE 配置跨域的 MPLS TE 隧道组网图



设备	接口	IP地址	设备	接口	IP地址	
Switch A	Loop0	1.1.1.9/32	Switch D	Loop0	4.4.4.9/32	
	Vlan-int1	10.1.1.1/24			Vlan-int3	30.1.1.2/24
	Vlan-int10	100.1.1.1/24			Vlan-int10	100.1.2.1/24
Switch B	Loop0	2.2.2.9/32	Switch C	Loop0	3.3.3.9/32	
	Vlan-int1	10.1.1.2/24			Vlan-int3	30.1.1.1/24
	Vlan-int2	20.1.1.1/24			Vlan-int2	20.1.1.2/24

3. 配置步骤

(1) 配置各接口的 IP 地址

按照 图 1-11 配置各接口的 IP 地址和掩码，具体配置过程略。

(2) 配置使用 OSPF 在 AS 内发布路由信息，并在 Switch B 和 Switch C 上配置 OSPF 引入直连路由和 BGP 路由

配置 Switch A。

```
<SwitchA> system-view
```

```
[SwitchA] ospf
[SwitchA-ospf-1] area 0
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.1.1.0 0.0.0.255
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.0] network 1.1.1.9 0.0.0.0
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[SwitchA-ospf-1] quit
```

配置 Switch B。

```
<SwitchB> system-view
[SwitchB] ospf
[SwitchB-ospf-1] import-route direct
[SwitchB-ospf-1] import-route bgp
[SwitchB-ospf-1] area 0
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.1.1.0 0.0.0.255
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.0] network 2.2.2.9 0.0.0.0
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[SwitchB-ospf-1] quit
```

配置 Switch C。

```
<SwitchC> system-view
[SwitchC] ospf
[SwitchC-ospf-1] import-route direct
[SwitchC-ospf-1] import-route bgp
[SwitchC-ospf-1] area 0
[SwitchC-ospf-1-area-0.0.0.0] network 30.1.1.0 0.0.0.255
[SwitchC-ospf-1-area-0.0.0.0] network 3.3.3.9 0.0.0.0
[SwitchC-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[SwitchC-ospf-1] quit
```

配置 Switch D。

```
<SwitchD> system-view
[SwitchD] ospf
[SwitchD-ospf-1] area 0
[SwitchD-ospf-1-area-0.0.0.0] network 30.1.1.0 0.0.0.255
[SwitchD-ospf-1-area-0.0.0.0] network 4.4.4.9 0.0.0.0
[SwitchD-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[SwitchD-ospf-1] quit
```

配置完成后，在各设备上执行 **display ip routing-table** 命令，可以看到 AS 内的设备之间都学到了对方的路由，包括 Loopback 接口对应的主机路由。以 Switch A 为例：

```
[SwitchA] display ip routing-table
```

```
Destinations : 6          Routes : 6
```

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	NextHop	Interface
1.1.1.9/32	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0
2.2.2.9/32	O_INTRA	10	1	10.1.1.2	Vlan1
10.1.1.0/24	Direct	0	0	10.1.1.1	Vlan1
10.1.1.1/32	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0
127.0.0.0/8	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0


```
127.0.0.1/32      Direct  0   0           127.0.0.1      InLoop0
```

- (3) 在 Switch B 和 Switch C 之间配置 BGP，使得 AS 之间路由可达

配置 Switch B。

```
[SwitchB] bgp 100
[SwitchB-bgp] peer 20.1.1.2 as-number 200
[SwitchB-bgp] address-family ipv4 unicast
[SwitchB-bgp-ipv4] peer 20.1.1.2 enable
[SwitchB-bgp-ipv4] import-route ospf
[SwitchB-bgp-ipv4] import-route direct
[SwitchB-bgp-ipv4] quit
[SwitchB-bgp] quit
```

配置 Switch C。

```
[SwitchC] bgp 200
[SwitchC-bgp] peer 20.1.1.1 as-number 100
[SwitchC-bgp] address-family ipv4 unicast
[SwitchC-bgp-ipv4] peer 20.1.1.1 enable
[SwitchC-bgp-ipv4] import-route ospf
[SwitchC-bgp-ipv4] import-route direct
[SwitchC-bgp-ipv4] quit
[SwitchC-bgp] quit
```

配置完成后，在各设备上执行 **display ip routing-table** 命令，可以看到设备学习到了 AS 外部的路由。以 Switch A 为例：

```
[SwitchA] display ip routing-table
```

```
Destinations : 10          Routes : 10
```

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	NextHop	Interface
1.1.1.9/32	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0
2.2.2.9/32	O_INTRA	10	1	10.1.1.2	Vlan1
3.3.3.9/32	O_ASE	150	1	10.1.1.2	Vlan1
4.4.4.9/32	O_ASE	150	1	10.1.1.2	Vlan1
10.1.1.0/24	Direct	0	0	10.1.1.1	Vlan1
10.1.1.1/32	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0
20.1.1.0/24	O_ASE	150	1	10.1.1.2	Vlan1
30.1.1.0/24	O_ASE	150	1	10.1.1.2	Vlan1
127.0.0.0/8	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0
127.0.0.1/32	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0

- (4) 配置 LSR ID，开启 MPLS、MPLS TE 和 RSVP-TE 能力

配置 Switch A。

```
[SwitchA] mpls lsr-id 1.1.1.9
[SwitchA] mpls te
[SwitchA-te] quit
[SwitchA] rsvp
[SwitchA-rsvp] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls enable
```

```
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchA-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchA-Vlan-interface1] quit
```

配置 Switch B。

```
[SwitchB] mpls lsr-id 2.2.2.9
[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] quit
[SwitchB] rsvp
[SwitchB-rsvp] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface2] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
```

配置 Switch C。

```
[SwitchC] mpls lsr-id 3.3.3.9
[SwitchC] mpls te
[SwitchC-te] quit
[SwitchC] rsvp
[SwitchC-rsvp] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchC-Vlan-interface2] rsvp enable
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 3
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls enable
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls te enable
[SwitchC-Vlan-interface3] rsvp enable
[SwitchC-Vlan-interface3] quit
```

配置 Switch D。

```
[SwitchD] mpls lsr-id 4.4.4.9
[SwitchD] mpls te
[SwitchD-te] quit
[SwitchD] rsvp
[SwitchD-rsvp] quit
[SwitchD] interface vlan-interface 3
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls enable
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls te enable
[SwitchD-Vlan-interface3] rsvp enable
[SwitchD-Vlan-interface3] quit
```

(5) 配置 OSPF TE

配置 Switch A。

```
[SwitchA] ospf
[SwitchA-ospf-1] opaque-capability enable
[SwitchA-ospf-1] area 0
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.0] mpls te enable
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[SwitchA-ospf-1] quit
```

配置 Switch B。

```
[SwitchB] ospf
[SwitchB-ospf-1] opaque-capability enable
[SwitchB-ospf-1] area 0
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.0] mpls te enable
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[SwitchB-ospf-1] quit
```

配置 Switch C。

```
[SwitchC] ospf
[SwitchC-ospf-1] opaque-capability enable
[SwitchC-ospf-1] area 0
[SwitchC-ospf-1-area-0.0.0.0] mpls te enable
[SwitchC-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[SwitchC-ospf-1] quit
```

配置 Switch D。

```
[SwitchD] ospf
[SwitchD-ospf-1] opaque-capability enable
[SwitchD-ospf-1] area 0
[SwitchD-ospf-1-area-0.0.0.0] mpls te enable
[SwitchD-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[SwitchD-ospf-1] quit
```

(6) 配置显式路径

在 Switch A 上配置显式路径，指定 Switch B 节点和 Switch D 节点为松散下一跳，Switch C 节点为严格下一跳。

```
[SwitchA] explicit-path atod
[SwitchA-explicit-path-atod] nexthop 10.1.1.2 include loose
[SwitchA-explicit-path-atod] nexthop 20.1.1.2 include strict
[SwitchA-explicit-path-atod] nexthop 30.1.1.2 include loose
[SwitchA-explicit-path-atod] quit
```

(7) 配置链路的 MPLS TE 属性

在 Switch A 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchA-Vlan-interface1] quit
```

在 Switch B 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
```

```
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
```

在 Switch C 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 3
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchC-Vlan-interface3] quit
```

在 Switch D 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchD] interface vlan-interface 3
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls te max-reservable-bandwidth 5000
[SwitchD-Vlan-interface3] quit
```

(8) 配置 MPLS TE 隧道

在 Switch A 上配置 MPLS TE 隧道 Tunnel1：目的地址为 Switch D 的 LSR ID（4.4.4.9）；采用 RSVP-TE 信令协议建立 MPLS TE 隧道；隧道所需的带宽为 2000kbps；为隧道指定显式路径 atod。

```
[SwitchA] interface tunnel 1 mode mpls
[SwitchA-Tunnel1] ip address 7.1.1.1 255.255.255.0
[SwitchA-Tunnel1] destination 4.4.4.9
[SwitchA-Tunnel1] mpls te signaling rsvp-te
[SwitchA-Tunnel1] mpls te bandwidth 2000
[SwitchA-Tunnel1] mpls te path preference 5 explicit-path atod
[SwitchA-Tunnel1] quit
```

(9) 配置静态路由使流量沿 MPLS TE 隧道转发

在 Switch A 上配置静态路由，使得到达网络 100.1.2.0/24 的流量通过 MPLS TE 隧道接口 Tunnel1 转发。

```
[SwitchA] ip route-static 100.1.2.0 24 tunnel 1 preference 1
```

4. 验证配置

配置完成后，在 Switch A 上执行 **display interface tunnel** 命令可以看到隧道接口状态为 up。

```
[SwitchA] display interface tunnel 1
Tunnel1
Current state: UP
Line protocol state: UP
Description: Tunnel1 Interface
Bandwidth: 64kbps
Maximum transmission unit: 1496
Internet address: 7.1.1.1/24 (primary)
```

```

Tunnel source unknown, destination 4.4.4.9
Tunnel TTL 255
Tunnel protocol/transport CR_LSP
Last clearing of counters: Never
Last 300 seconds input rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Last 300 seconds output rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Input: 0 packets input, 0 bytes, 0 drops
Output: 3077 packets output, 197028 bytes, 0 drops

```

在 Switch A 上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令可以看到隧道的详细信息。

```

[SwitchA] display mpls te tunnel-interface
Tunnel Name           : Tunnel 1
Tunnel State          : Up (Main CRLSP up. Shared-resource CRLSP down)
Tunnel Attributes     :
  LSP ID               : 23549           Tunnel ID             : 1
  Admin State          : Normal
  Ingress LSR ID      : 1.1.1.9         Egress LSR ID        : 4.4.4.9
  Signaling            : RSVP-TE        Static CRLSP Name    : -
  Resv Style           : SE
  Tunnel mode         : -
  Reverse-LSP name    : -
  Reverse-LSP LSR ID  : -              Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type           : CT0            Tunnel Bandwidth     : 2000 kbps
  Reserved Bandwidth  : 2000 kbps
  Setup Priority       : 7              Holding Priority      : 7
  Affinity Attr/Mask  : 0/0
  Explicit Path       : atod
  Backup Explicit Path: -
  Metric Type         : TE
  Record Route        : Disabled        Record Label         : Disabled
  FRR Flag            : Disabled        Bandwidth Protection : Disabled
  Backup Bandwidth Flag: Disabled       Backup Bandwidth Type: -
  Backup Bandwidth    : -
  Bypass Tunnel       : No             Auto Created         : No
  Route Pinning       : Disabled
  Retry Limit         : 10              Retry Interval       : 2 sec
  Reoptimization     : Disabled        Reoptimization Freq : -
  Backup Type         : None           Backup LSP ID        : -
  Auto Bandwidth     : Disabled        Auto Bandwidth Freq  : -
  Min Bandwidth       : -              Max Bandwidth        : -
  Collected Bandwidth : -            Service-Class        : -

```

在 Switch A 上执行 **display ip routing-table** 命令，可以看到路由表中有以 Tunnel1 为出接口的静态路由信息。

```

[SwitchA] display ip routing-table

Destinations : 14          Routes : 14

Destination/Mask  Proto  Pre Cost      NextHop          Interface

```

1.1.1.9/32	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0
2.2.2.9/32	O_INTRA	10	1	10.1.1.2	Vlan1
3.3.3.9/32	O_ASE	150	1	10.1.1.2	Vlan1
4.4.4.9/32	O_ASE	150	1	10.1.1.2	Vlan1
7.1.1.0/24	Direct	0	0	7.1.1.1	Tun1
7.1.1.1/32	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0
10.1.1.0/24	Direct	0	0	10.1.1.1	Vlan1
10.1.1.1/32	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0
20.1.1.0/24	O_ASE	150	1	10.1.1.2	Vlan1
30.1.1.0/24	O_ASE	150	1	10.1.1.2	Vlan1
100.1.2.0/24	Static	1	0	0.0.0.0	Tun1
127.0.0.0/8	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0
127.0.0.1/32	Direct	0	0	127.0.0.1	InLoop0

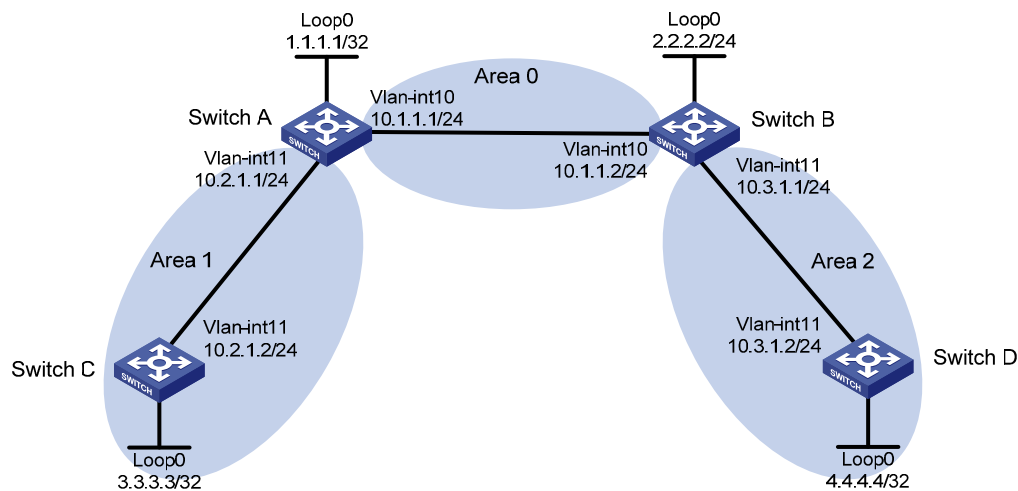
1.22.4 使用PCE计算的路径建立跨区域的MPLS TE隧道示例

1. 组网需求

- 设备 Switch A、Switch B、Switch C 和 Switch D 均支持 MPLS TE 且运行 OSPF。
- 设备 Switch A 和 Switch B 为 PCE, Switch C 作为 PCC, 自动发现 PCE, 并向 PCE 请求计算从 Switch C 到 Switch D 的跨 OSPF 区域路径。

2. 组网图

图1-12 使用 PCE 计算的路径建立跨区域的 MPLS TE 隧道组网图



3. 配置步骤

(1) 配置各接口的 IP 地址

按照 [图 1-12](#) 配置各接口的 IP 地址和掩码, 具体配置过程略。

(2) 配置 OSPF 协议发布接口所在网段的路由, 并配置 OSPF TE

配置 Switch A

```
<SwitchA> system-view
[SwitchA] ospf
[SwitchA-ospf-1] area 0
```

```
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.1.1.0 0.0.0.255
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.0] network 1.1.1.1 0.0.0.0
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.0] mpls te enable
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[SwitchA-ospf-1] area 1
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.2.1.0 0.0.0.255
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.1] mpls te enable
[SwitchA-ospf-1-area-0.0.0.1] quit
[SwitchA-ospf-1] quit
```

配置 Switch B

```
<SwitchB> system-view
[SwitchB] ospf
[SwitchB-ospf-1] area 0
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.0] network 10.1.1.0 0.0.0.255
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.0] network 2.2.2.2 0.0.0.0
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.0] mpls te enable
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.0] quit
[SwitchB-ospf-1] area 2
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.3.1.0 0.0.0.255
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.2] mpls te enable
[SwitchB-ospf-1-area-0.0.0.2] quit
[SwitchB-ospf-1] quit
```

配置 Switch C

```
<SwitchC> system-view
[SwitchC] ospf
[SwitchC-ospf-1] area 1
[SwitchC-ospf-1-area-0.0.0.1] network 10.2.1.0 0.0.0.255
[SwitchC-ospf-1-area-0.0.0.1] network 3.3.3.3 0.0.0.0
[SwitchC-ospf-1-area-0.0.0.1] mpls te enable
[SwitchC-ospf-1-area-0.0.0.1] quit
[SwitchC-ospf-1] quit
```

配置 Switch D

```
<SwitchD> system-view
[SwitchD] ospf
[SwitchD-ospf-1] area 2
[SwitchD-ospf-1-area-0.0.0.2] network 10.3.1.0 0.0.0.255
[SwitchD-ospf-1-area-0.0.0.2] network 4.4.4.4 0.0.0.0
[SwitchD-ospf-1-area-0.0.0.2] mpls te enable
[SwitchD-ospf-1-area-0.0.0.2] quit
[SwitchD-ospf-1] quit
```

(3) 配置 LSR ID, 使能 MPLS、MPLS TE 和 RSVP-TE 能力

配置 Switch A

```
[SwitchA] mpls lsr-id 1.1.1.1
[SwitchA] mpls te
[SwitchA-te] quit
[SwitchA] rsvp
[SwitchA-rsvp] quit
```

```
[SwitchA] interface vlan-interface 10
[SwitchA-Vlan-interface10] mpls enable
[SwitchA-Vlan-interface10] mpls te enable
[SwitchA-Vlan-interface10] rsvp enable
[SwitchA-Vlan-interface10] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 11
[SwitchA-Vlan-interface11] mpls enable
[SwitchA-Vlan-interface11] mpls te enable
[SwitchA-Vlan-interface11] rsvp enable
[SwitchA-Vlan-interface11] quit
```

配置 Switch B

```
[SwitchB] mpls lsr-id 2.2.2.2
[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] quit
[SwitchB] rsvp
[SwitchB-rsvp] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 10
[SwitchB-Vlan-interface10] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface10] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface10] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface10] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 11
[SwitchB-Vlan-interface11] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface11] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface11] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface11] quit
```

配置 Switch C

```
[SwitchC] mpls lsr-id 3.3.3.3
[SwitchC] mpls te
[SwitchC-te] quit
[SwitchC] rsvp
[SwitchC-rsvp] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 11
[SwitchC-Vlan-interface11] mpls enable
[SwitchC-Vlan-interface11] mpls te enable
[SwitchC-Vlan-interface11] rsvp enable
[SwitchC-Vlan-interface11] quit
```

配置 Switch D

```
[SwitchD] mpls lsr-id 4.4.4.4
[SwitchD] mpls te
[SwitchD-te] quit
[SwitchD] rsvp
[SwitchD-rsvp] quit
[SwitchD] interface vlan-interface 11
[SwitchD-Vlan-interface11] mpls enable
[SwitchD-Vlan-interface11] mpls te enable
[SwitchD-Vlan-interface11] rsvp enable
[SwitchD-Vlan-interface11] quit
```


(4) 配置 Switch A 和 Switch B 为 PCE

配置 Switch A

```
[SwitchA] mpls te
[SwitchA-te] pce address 1.1.1.1
```

配置 Switch B

```
[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] pce address 2.2.2.2
```

(5) 配置 Switch C 作为 PCC 并使用 PCE 计算路径

在 Switch C 上配置 MPLS TE 隧道 Tunnel1：目的地址为 Switch D 的 LSR ID（4.4.4.4）；采用 RSVP-TE 信令协议建立 MPLS TE 隧道。

```
[SwitchC] interface tunnel 1 mode mpls-te
[SwitchC-Tunnel1] ip address 7.1.1.1 255.255.255.0
[SwitchC-Tunnel1] destination 4.4.4.4
[SwitchC-Tunnel1] mpls te signaling rsvp-te
```

配置使用 PCE 计算路径，并指定计算路径的 PCE 为 Switch A 和 Switch B，发起 BRPC 计算。

```
[SwitchC-Tunnel1] mpls te path preference 2 dynamic pce 1.1.1.1 2.2.2.2
[SwitchC-Tunnel1] quit
```

4. 验证配置

配置完成后，在各交换机上执行 **display mpls te pce discovery verbose**，可以查看到自动发现的 PCE。以 Switch A 为例：

```
[SwitchA] display mpls te pce discovery verbose
PCE address: 2.2.2.2
Discovery methods: OSPF
Path scopes:
  Path scope                                     Preference
  Compute intra-area paths                       7
  Act as PCE for inter-area TE LSP computation  6
  Act as a default PCE for inter-area TE LSP computation 6
Capabilities:
  Bidirectional path computation
  Support for request prioritization
  Support for multiple requests per message
Domains:
  OSPF 1 area 0.0.0.0
  OSPF 1 area 0.0.0.2
```

在各交换机上执行 **display mpls te pce peer verbose**，可以查看到建立的 PCEP 会话，显示会话状态 up。以 Switch A 为例：

```
[SwitchA] display mpls te pce peer verbose
Peer address: 2.2.2.2
TCP connection      : 1.1.1.1:29507 -> 2.2.2.2:4189
Peer type           : PCE
Session type        : Stateless
Session state       : UP
Mastership          : Normal
```

```

Role : Active
Session up time : 0000 days 00 hours 00 minutes
Session ID : Local 0, Peer 0
Keepalive interval : Local 30 sec, Peer 30 sec
Recommended DeadTimer : Local 120 sec, Peer 120 sec
Tolerance:
  Min keepalive interval: 10 sec
  Max unknown messages : 5
Request timeout : 10 sec
Delegation timeout : 30 sec

Peer address: 3.3.3.3
TCP connection : 3.3.3.3:29507 -> 1.1.1.1:4189
Peer type : PCC
Session type : Stateless
Session state : UP
Mastership : Normal
Role : Active
Session up time : 0000 days 00 hours 00 minutes
Session ID : Local 2, Peer 0
Keepalive interval : Local 30 sec, Peer 30 sec
Recommended DeadTimer : Local 120 sec, Peer 120 sec
Tolerance:
  Min keepalive interval: 10 sec
  Max unknown messages : 5
Request timeout : 10 sec
Delegation timeout : 30 sec

```

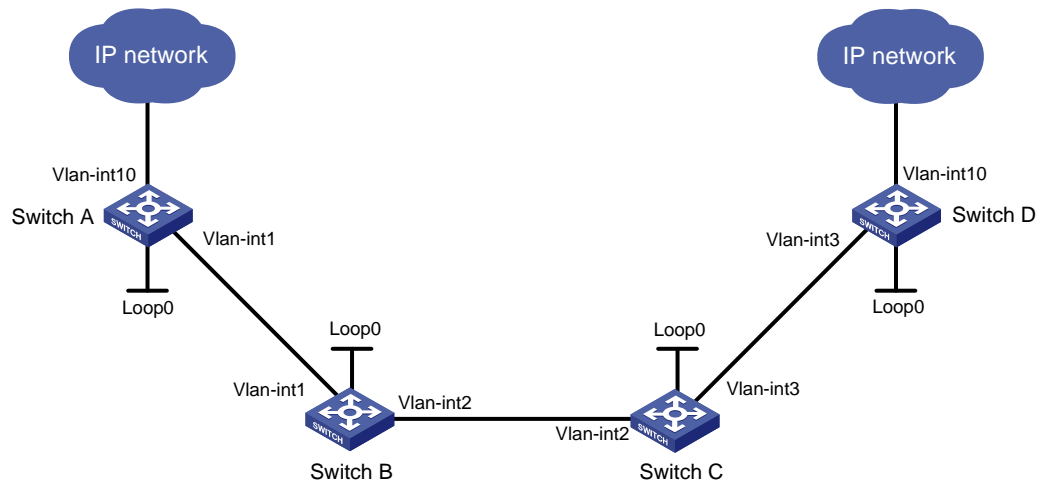
1.22.5 配置MPLS TE双向隧道示例

1. 组网需求

- 设备 Switch A、Switch B、Switch C 和 Switch D 运行 IS-IS，都是 Level-2 设备；
- 使用 RSVP-TE 从 Switch A 到 Switch D 建立双向 TE 隧道。

2. 组网图

图1-13 配置 MPLS TE 双向隧道组网图



设备	接口	IP地址	设备	接口	IP地址
Switch A	Loop0	1.1.1.9/32	Switch D	Loop0	4.4.4.9/32
	Vlan-int1	10.1.1.1/24		Vlan-int3	30.1.1.2/24
	Vlan-int10	100.1.1.1/24		Vlan-int10	100.1.2.1/24
Switch B	Loop0	2.2.2.9/32	Switch C	Loop0	3.3.3.9/32
	Vlan-int1	10.1.1.2/24		Vlan-int3	30.1.1.1/24
	Vlan-int2	20.1.1.1/24		Vlan-int2	20.1.1.2/24

3. 配置步骤

(1) 配置各接口的 IP 地址

按照 图 1-13 配置各接口的 IP 地址和掩码，具体配置过程略。

(2) 配置 IS-IS 协议发布接口所在网段的路由，包括 Loopback 接口

具体过程请参见“[1.22.2 使用 RSVP-TE 配置 MPLS TE 隧道示例](#)”。

(3) 配置 LSR ID，开启 MPLS、MPLS TE 和 RSVP-TE 能力，并在 Switch A 和 Switch D 上配置为倒数第二跳分配非空标签

配置 Switch A。

```
<SwitchA> system-view
[SwitchA] mpls lsr-id 1.1.1.9
[SwitchA] mpls label advertise non-null
[SwitchA] mpls te
[SwitchA-te] quit
[SwitchA] rsvp
[SwitchA-rsvp] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchA-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchA-Vlan-interface1] quit
```

配置 Switch B。

```
<SwitchB> system-view
[SwitchB] mpls lsr-id 2.2.2.9
[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] quit
[SwitchB] rsvp
[SwitchB-rsvp] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface2] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
```

配置 Switch C。

```
<SwitchC> system-view
[SwitchC] mpls lsr-id 3.3.3.9
[SwitchC] mpls te
[SwitchC-te] quit
[SwitchC] rsvp
[SwitchC-rsvp] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 3
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls enable
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls te enable
[SwitchC-Vlan-interface3] rsvp enable
[SwitchC-Vlan-interface3] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchC-Vlan-interface2] rsvp enable
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
```

配置 Switch D。

```
<SwitchD> system-view
[SwitchD] mpls lsr-id 4.4.4.9
[SwitchD] mpls label advertise non-null
[SwitchD] mpls te
[SwitchD-te] quit
[SwitchD] rsvp
[SwitchD-rsvp] quit
[SwitchD] interface vlan-interface 3
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls enable
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls te enable
[SwitchD-Vlan-interface3] rsvp enable
[SwitchD-Vlan-interface3] quit
```

(4) 配置 IS-IS TE

配置 Switch A。

```
[SwitchA] isis 1
[SwitchA-isis-1] cost-style wide
[SwitchA-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchA-isis-1] quit
```

配置 Switch B。

```
[SwitchB] isis 1
[SwitchB-isis-1] cost-style wide
[SwitchB-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchB-isis-1] quit
```

配置 Switch C。

```
[SwitchC] isis 1
[SwitchC-isis-1] cost-style wide
[SwitchC-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchC-isis-1] quit
```

配置 Switch D。

```
[SwitchD] isis 1
[SwitchD-isis-1] cost-style wide
[SwitchD-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchD-isis-1] quit
```

(5) 配置 MPLS TE 双向隧道

配置 Switch A 作为 Co-routed 方式双向隧道的 active 端。

```
[SwitchA] interface tunnel 1 mode mpls-te
[SwitchA-Tunnel1] ip address 7.1.1.1 255.255.255.0
[SwitchA-Tunnel1] destination 4.4.4.9
[SwitchA-Tunnel1] mpls te signaling rsvp-te
[SwitchA-Tunnel1] mpls te resv-style ff
[SwitchA-Tunnel1] mpls te bidirectional co-routed active
[SwitchA-Tunnel1] quit
```

配置 Switch D 作为 Co-routed 方式双向隧道的 passive 端。

```
[SwitchD] interface tunnel 4 mode mpls-te
[SwitchD-Tunnel4] ip address 8.1.1.1 255.255.255.0
[SwitchD-Tunnel4] destination 1.1.1.9
[SwitchD-Tunnel4] mpls te signaling rsvp-te
[SwitchD-Tunnel4] mpls te resv-style ff
[SwitchD-Tunnel4] mpls te bidirectional co-routed passive reverse-lsp lsr-id 1.1.1.9
tunnel-id 1
[SwitchD-Tunnel4] quit
```

(6) 配置静态路由使流量沿 MPLS TE 隧道转发

在 Switch A 上配置静态路由，使得到达网络 100.1.2.0/24 的流量通过 MPLS TE 隧道接口 Tunnel1 转发。

```
[SwitchA] ip route-static 100.1.2.0 24 tunnel 1 preference 1
```

在 Switch D 上配置静态路由，使得到达网络 100.1.1.0/24 的流量通过 MPLS TE 隧道接口 Tunnel4 转发。

```
[SwitchD] ip route-static 100.1.1.0 24 tunnel 4 preference 1
```

4. 验证配置

配置完成后，在 Switch A 上执行 **display interface tunnel** 命令可以看到隧道接口状态为 up。

```
[SwitchA] display interface tunnel
Tunnell
Current state: UP
Line protocol state: UP
Description: Tunnell Interface
Bandwidth: 64kbps
Maximum transmission unit: 1496
Internet address: 7.1.1.1/24 (primary)
Tunnel source unknown, destination 4.4.4.9
Tunnel protocol/transport CR_LSP
Last clearing of counters: Never
Last 300 seconds input rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Last 300 seconds output rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Input: 0 packets, 0 bytes, 0 drops
Output: 0 packets, 0 bytes, 0 drops
```

在 Switch A 上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令可以看到隧道的详细信息。

```
[SwitchA] display mpls te tunnel-interface
Tunnel Name          : Tunnel 1
Tunnel State         : Up (Main CRLSP up. Reverse CRLSP up)
Tunnel Attributes   :
  LSP ID              : 30478          Tunnel ID           : 1
  Admin State         : Normal
  Ingress LSR ID     : 1.1.1.9        Egress LSR ID      : 4.4.4.9
  Signaling           : RSVP-TE       Static CRLSP Name  : -
  Resv Style          : FF
  Tunnel mode         : Co-routed, active
  Reverse-LSP name    : -
  Reverse-LSP LSR ID : -             Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type          : CT0           Tunnel Bandwidth    : 0 kbps
  Reserved Bandwidth : 0 kbps
  Setup Priority       : 7             Holding Priority    : 7
  Affinity Attr/Mask : 0/0
  Explicit Path       : -
  Backup Explicit Path : -
  Metric Type         : TE
  Record Route        : Disabled      Record Label        : Disabled
  FRR Flag            : Disabled      Bandwidth Protection : Disabled
  Backup Bandwidth Flag: Disabled     Backup Bandwidth Type: -
  Backup Bandwidth    : -
  Bypass Tunnel       : No           Auto Created        : No
  Route Pinning       : Disabled
  Retry Limit         : 10           Retry Interval      : 2 sec
  Reoptimization      : Disabled     Reoptimization Freq : -
```

```
Backup Type          : None          Backup LSP ID       : -
Auto Bandwidth      : Disabled      Auto Bandwidth Freq : -
Min Bandwidth       : -             Max Bandwidth       : -
Collected Bandwidth : -             Service-Class       : -
```

在 Switch A 上执行 **display mpls lsp verbose** 命令可以看到双向隧道的详细信息。

```
[SwitchA] display mpls lsp verbose
```

```
Destination : 4.4.4.9
FEC         : 1.1.1.9/1/30478
Protocol    : RSVP
LSR Type    : Ingress
Service     : -
NHLFE ID   : 1027
State      : Active
Out-Label  : 1149
Nexthop    : 10.1.1.2
Out-Interface: Vlan1
```

```
Destination : 4.4.4.9
FEC         : 1.1.1.9/1/30478
Protocol    : RSVP
LSR Type    : Egress
Service     : -
In-Label   : 1151
State      : Active
Nexthop    : 127.0.0.1
Out-Interface: -
```

```
Destination : 10.1.1.2
FEC         : 10.1.1.2
Protocol    : Local
LSR Type    : Ingress
Service     : -
NHLFE ID   : 1026
State      : Active
Nexthop    : 10.1.1.2
Out-Interface: Vlan1
```

```
Destination : 4.4.4.9
FEC         : Tunnel1
Protocol    : Local
LSR Type    : Ingress
Service     : -
NHLFE ID   : 268435457
State      : Active
Out-Interface: NHLFE74
```

在 Switch D 上执行 **display interface tunnel** 命令可以看到隧道接口状态为 up。

```
[SwitchD] display interface tunnel
```

```
Tunnel4
```

```

Current state: UP
Line protocol current state: UP
Description: Tunnel4 Interface
Bandwidth: 64kbps
Maximum transmission unit: 1496
Internet address: 8.1.1.1/24 (primary)
Tunnel source unknown, destination 1.1.1.9
Tunnel TTL 255
Tunnel protocol/transport CR_LSP
Last clearing of counters: Never
Last 300 seconds input rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Last 300 seconds output rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Input: 0 packets input, 0 bytes, 0 drops
Output: 0 packets output, 0 bytes, 0 drops

```

在 Switch D 上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令可以看到隧道的详细信息。

```

[SwitchD] display mpls te tunnel-interface
Tunnel Name           : Tunnel 4
Tunnel State          : Up (Main CRLSP up. Reverse CRLSP up)
Tunnel Attributes     :
  LSP ID               : -                Tunnel ID           : 4
  Admin State          : Normal
  Ingress LSR ID      : -                Egress LSR ID        : -
  Signaling            : RSVP-TE         Static CRLSP Name    : -
  Resv Style           : FF
  Tunnel mode          : Co-routed, passive
  Reverse-LSP name     : -
  Reverse-LSP LSR ID  : 1.1.1.9         Reverse-LSP Tunnel ID: 1
  Class Type           : -                Tunnel Bandwidth     : -
  Reserved Bandwidth  : -
  Setup Priority       : -                Holding Priority     : -
  Affinity Attr/Mask  : -/-
  Explicit Path       : -
  Backup Explicit Path : -
  Metric Type         : -
  Record Route        : -                Record Label         : -
  FRR Flag            : -                Bandwidth Protection : -
  Backup Bandwidth Flag: -                Backup Bandwidth Type: -
  Backup Bandwidth    : -
  Bypass Tunnel       : -                Auto Created         : No
  Route Pinning       : -
  Retry Limit         : -                Retry Interval       : -
  Reoptimization      : -                Reoptimization Freq  : -
  Backup Type         : -                Backup LSP ID        : -
  Auto Bandwidth      : -                Auto Bandwidth Freq  : -
  Min Bandwidth       : -                Max Bandwidth        : -
  Collected Bandwidth : -                Service-Class        : -

```

在 Switch D 上执行 **display mpls lsp verbose** 命令可以看到双向隧道的详细信息。

```

[SwitchD] display mpls lsp verbose

```



```
Destination : 4.4.4.9
FEC         : 1.1.1.9/1/30478
Protocol    : RSVP
LSR Type    : Egress
Service     : -
In-Label    : 3
State       : Active
Nexthop     : 127.0.0.1
Out-Interface: -
```

```
Destination : 4.4.4.9
FEC         : 1.1.1.9/1/30478
Protocol    : RSVP
LSR Type    : Ingress
Service     : -
NHLFE ID   : 1025
State       : Active
Out-Label   : 1150
Nexthop     : 30.1.1.1
Out-Interface: Vlan1
```

```
Destination : 30.1.1.1
FEC         : 30.1.1.1
Protocol    : Local
LSR Type    : Ingress
Service     : -
NHLFE ID   : 1024
State       : Active
Nexthop     : 30.1.1.1
Out-Interface: Vlan1
```

```
Destination : 1.1.1.9
FEC         : Tunnel1
Protocol    : Local
LSR Type    : Ingress
Service     : -
NHLFE ID   : 268435457
State       : Active
Out-Interface: NHLFE74
```

1.22.6 配置CRLSP备份示例

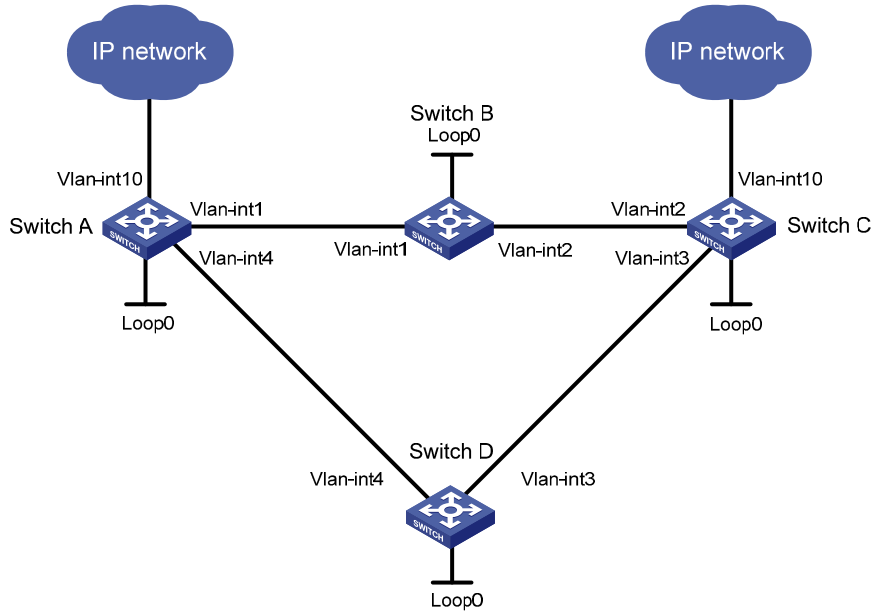
1. 组网需求

- 设备 Switch A、Switch B、Switch C 和 Switch D 运行 IS-IS 和 IS-IS TE；
- 使用 RSVP-TE 从 Switch A 到 Switch C 建立一条 MPLS TE 隧道，实现两个 IP 网络通过 MPLS TE 隧道传输数据流量；

- MPLS TE 隧道支持 CRLSP 热备份，即同时建立主备两条 CRLSP，实现主 CRLSP 故障时将流量切换到备份 CRLSP。

2. 组网图

图1-14 CRLSP 备份组网图



设备	接口	IP地址	设备	接口	IP地址
Switch A	Loop0	1.1.1.9/32	Switch D	Loop0	4.4.4.9/32
	Vlan-int1	10.1.1.1/24		Vlan-int4	30.1.1.2/24
	Vlan-int4	30.1.1.1/24		Vlan-int3	40.1.1.1/24
	Vlan-int10	100.1.1.1/24	Switch C	Loop0	3.3.3.9/32
Switch B	Loop0	2.2.2.9/32		Vlan-int2	20.1.1.2/24
	Vlan-int1	10.1.1.2/24		Vlan-int3	40.1.1.2/24
	Vlan-int2	20.1.1.1/24		Vlan-int10	100.1.2.1/24

3. 配置步骤

说明

进行下面配置之前，需要先全局关闭 STP 功能，或为每个 VLAN 映射一个 MSTP 实例。具体配置方法请参见“二层技术-以太网交换配置指导”中的“生成树”。

(1) 配置各接口的 IP 地址

按照 [图 1-14](#) 配置各接口的 IP 地址和掩码，包括各 Loopback 接口，并配置 IS-IS TE，具体配置过程略。

(2) 配置 IS-IS 协议发布接口所在网段的路由，包括 Loopback 接口（具体配置过程略）

(3) 配置 LSR ID，开启 MPLS、MPLS TE 和 RSVP-TE 能力

配置 Switch A。

```

<SwitchA> system-view
[SwitchA] mpls lsr-id 1.1.1.9
[SwitchA] mpls te
[SwitchA-te] quit
[SwitchA] rsvp
[SwitchA-rsvp] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchA-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchA-Vlan-interface1] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 4
[SwitchA-Vlan-interface4] mpls enable
[SwitchA-Vlan-interface4] mpls te enable
[SwitchA-Vlan-interface4] rsvp enable
[SwitchA-Vlan-interface4] quit

```

Switch B、Switch C 和 Switch D 的配置与 Switch A 相似，此处不再赘述。

(4) 配置 MPLS TE 隧道

在 Switch A 上配置 MPLS TE 隧道 Tunnel3：目的地址为 Switch C 的 LSR ID（3.3.3.9）；采用 RSVP-TE 信令协议建立 MPLS TE 隧道；隧道支持 CRLSP 热备份功能。

```

[SwitchA] interface tunnel 3 mode mpls-te
[SwitchA-Tunnel3] ip address 9.1.1.1 24
[SwitchA-Tunnel3] destination 3.3.3.9
[SwitchA-Tunnel3] mpls te signaling rsvp-te
[SwitchA-Tunnel3] mpls te backup hot-standby
[SwitchA-Tunnel3] quit

```

(5) 配置静态路由使流量沿 MPLS TE 隧道转发

在 Switch A 上配置静态路由，使得到达网络 100.1.2.0/24 的流量通过 MPLS TE 隧道接口 Tunnel3 转发。

```

[SwitchA] ip route-static 100.1.2.0 24 tunnel 3 preference 1

```

4. 验证配置

配置完成后，在 Switch A 上执行 **display interface tunnel** 命令，可以看到 Tunnel3 的状态为 up。

```

[SwitchA] display interface tunnel
Tunnel3
Current state: UP
Line protocol state: UP
Description: Tunnel3 Interface
Bandwidth: 64kbps
Maximum transmission unit: 1496
Internet address: 9.1.1.1/24 (primary)
Tunnel source unknown, destination 3.3.3.9
Tunnel TTL 255
Tunnel protocol/transport CR_LSP
Output queue - Urgent queuing: Size/Length/Discards 0/100/0
Output queue - Protocol queuing: Size/Length/Discards 0/500/0

```

```

Output queue - FIFO queuing: Size/Length/Discards 0/75/0
Last clearing of counters: Never
Last 300 seconds input rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Last 300 seconds output rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Input: 0 packets, 0 bytes, 0 drops
Output: 0 packets, 0 bytes, 0 drops

```

在 Switch A 上执行 **display mpls lsp** 命令，可以看到存在两条 CRLSP，出接口分别是 Vlan-interface1 和 Vlan-interface4，即主 CRLSP 创建后，备份 CRLSP 也建立了。

```

[SwitchA] display mpls lsp
FEC                Proto    In/Out Label    Interface/Out NHLFE
1.1.1.9/3/34311    RSVP    -/1150         Vlan1
1.1.1.9/3/34312    RSVP    -/1151         Vlan4
10.1.1.2           Local    -/-           Vlan1
30.1.1.2           Local    -/-           Vlan4
Tunnel3            Local    -/-           NHLFE1026
Backup             -/-     -/-           NHLFE1028

```

在 Switch A 上执行 **display rsvp lsp verbose** 命令，可以看到这两条 CRLSP 使用的路径。

```

[SwitchA] display rsvp lsp verbose
Tunnel name: SwitchA_t3
Destination: 3.3.3.9                Source: 1.1.1.9
Tunnel ID: 3                        LSP ID: 30106
LSR type: Ingress                    Direction: Unidirectional
Setup priority: 7                    Holding priority: 7
In-Label: -                          Out-Label: 1137
In-Interface: -                      Out-Interface: Vlan1
Nextthop: 10.1.1.2                  Exclude-any: 0
Include-Any: 0                       Include-all: 0
Mean rate (CIR): 0 kbps              Mean burst size (CBS): 1000.00 bytes
Path MTU: 1500                       Class type: CT0
RRO number: 6
  10.1.1.1/32      Flag: 0x00 (No FRR)
  10.1.1.2/32      Flag: 0x00 (No FRR/In-Int)
  2.2.2.9/32       Flag: 0x20 (No FRR/Node-ID)
  20.1.1.1/32      Flag: 0x00 (No FRR)
  20.1.1.2/32      Flag: 0x00 (No FRR/In-Int)
  3.3.3.9/32       Flag: 0x20 (No FRR/Node-ID)
Fast Reroute protection: None

```

```

Tunnel name: Tunnel3
Destination: 3.3.3.9                Source: 1.1.1.9
Tunnel ID: 3                        LSP ID: 30107
LSR type: Ingress                    Direction: Unidirectional
Setup priority: 7                    Holding priority: 7
In-Label: -                          Out-Label: 1150
In-Interface: -                      Out-Interface: Vlan4
Nextthop: 30.1.1.2                  Exclude-any: 0
Include-Any: 0                       Include-all: 0
Mean rate (CIR): 0 kbps              Mean burst size (CBS): 1000.00 bytes

```

```

Path MTU: 1500                                Class type: CT0
RRO number: 6
 30.1.1.1/32      Flag: 0x00 (No FRR)
 30.1.1.2/32      Flag: 0x00 (No FRR/In-Int)
 4.4.4.9/32       Flag: 0x20 (No FRR/Node-ID)
 40.1.1.1/32      Flag: 0x00 (No FRR)
 40.1.1.2/32      Flag: 0x00 (No FRR/In-Int)
 3.3.3.9/32       Flag: 0x20 (No FRR/Node-ID)

```

Fast Reroute protection: None

对 Tunnel3 进行 Tracert 操作, 可以看出目前使用的是经过 Switch B 的 CRLSP, 不是经过 Switch D 的 CRLSP。

```

[SwitchA] tracert mpls te tunnel 3
MPLS trace route TE tunnel Tunnel3
  TTL   Replier           Time   Type      Downstream
  0                               Ingress 10.1.1.2/[1147]
  1     10.1.1.2         1 ms   Transit  20.1.1.2/[3]
  2     20.1.1.2         2 ms   Egress

```

在 SwitchB 的接口 Vlan-interface2 上执行 shutdown 命令, 然后再对 Tunnel3 进行 Tracert 操作, 可以看到报文使用经过 Switch D 的 CRLSP 转发。

```

[SwitchA] tracert mpls te tunnel 3
MPLS trace route TE tunnel Tunnel3
  TTL   Replier           Time   Type      Downstream
  0                               Ingress 30.1.1.2/[1148]
  1     30.1.1.2         2 ms   Transit  40.1.1.2/[3]
  2     40.1.1.2         3 ms   Egress

```

在 Switch A 上执行 display mpls lsp 命令, 可以看到只剩下一条经过 Switch D 的 CRLSP:

```

[SwitchA] display mpls lsp
FEC                               Proto  In/Out Label   Interface/Out NHLFE
1.1.1.9/3/34313                   RSVP   -/1150         Vlan4
30.1.1.2                           Local  -/-            Vlan4
Tunnel3                             Local  -/-            NHLFE1029

```

在 Switch A 上执行 display ip routing-table 命令, 可以看到路由表中有以 Tunnel3 为出口的静态路由信息。

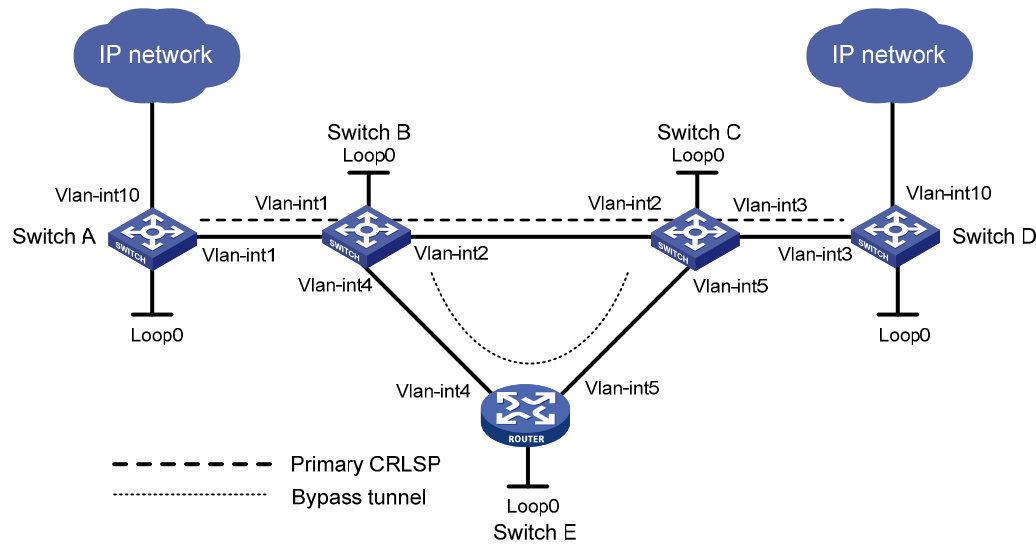
1.22.7 配置快速重路由示例（手工配置Bypass隧道）

1. 组网需求

- 主 CRLSP 使用路径 Switch A→Switch B→Switch C→Switch D, 要求对 Switch B→Switch C 这段链路通过 FRR 进行链路保护。
- 使用 RSVP-TE 信令协议、基于显式路径约束条件建立 MPLS TE 隧道的主 CRLSP 和 Bypass 隧道, 实现两个 IP 网络通过 MPLS TE 隧道传输数据流量。Bypass 隧道使用路径 Switch B→Switch E→Switch C (Switch B 是本地修复节点 PLR, Switch C 是汇聚点 MP)。
- 在 Switch B 和 Switch C 之间配置 RSVP-TE 与 BFD 联动, 当 Switch B 和 Switch C 之间的链路出现故障后, BFD 能够快速检测并通告 RSVP-TE 协议, 以便快速将流量切换到 Bypass 隧道。

2. 组网图

图1-15 MPLS TE 快速重路由配置组网图



设备	接口	IP地址	设备	接口	IP地址
Switch A	Loop0	1.1.1.1/32	Switch B	Loop0	2.2.2.2/32
	Vlan-int1	2.1.1.1/24		Vlan-int1	2.1.1.2/24
	Vlan-int10	100.1.1.1/24		Vlan-int2	3.1.1.1/24
Switch D	Loop0	4.4.4.4/32		Vlan-int4	3.2.1.1/24
	Vlan-int3	4.1.1.2/24	Switch C	Loop0	3.3.3.3/32
	Vlan-int10	100.1.1.1/24		Vlan-int3	4.1.1.1/24
Switch E	Loop0	5.5.5.5/32		Vlan-int2	3.1.1.2/24
	Vlan-int4	3.2.1.2/24		Vlan-int5	3.3.1.2/24
	Vlan-int5	3.3.1.1/24			

3. 配置步骤

(1) 配置各接口的 IP 地址

按照 图 1-15 配置各接口的 IP 地址和掩码，包括各 Loopback 接口，具体配置过程略。

(2) 配置 IS-IS 协议发布接口所在网段的路由，包括 Loopback 接口（具体配置过程略）

(3) 配置 LSR ID，开启 MPLS、MPLS TE 和 RSVP-TE 能力，并在 Switch B 和 Switch C 上配置 RSVP-TE 与 BFD 联动，以检测 Switch B 与 Switch C 之间链路的状态

配置 Switch A。

```
<SwitchA> system-view
[SwitchA] mpls lsr-id 1.1.1.1
[SwitchA] mpls te
[SwitchA-te] quit
[SwitchA] rsvp
[SwitchA-rsvp] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te enable
```

```
[SwitchA-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchA-Vlan-interface1] quit
```

配置 Switch B。

```
<SwitchB> system-view
[SwitchB] mpls lsr-id 2.2.2.2
[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] quit
[SwitchB] rsvp
[SwitchB-rsvp] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface2] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface2] rsvp bfd enable
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 4
[SwitchB-Vlan-interface4] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface4] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface4] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface4] quit
```

Switch C 的配置与 Switch B 的配置相似，Switch D、Switch E 的配置与 Switch A 的配置相似，此处不再赘述。

(4) 在主 CRLSP 的 Ingress 节点 Switch A 上建立 MPLS TE 隧道

配置主 CRLSP 的显式路径。

```
[SwitchA] explicit-path pri-path
[SwitchA-explicit-path-pri-path] nexthop 2.1.1.2
[SwitchA-explicit-path-pri-path] nexthop 3.1.1.2
[SwitchA-explicit-path-pri-path] nexthop 4.1.1.2
[SwitchA-explicit-path-pri-path] nexthop 4.4.4.4
[SwitchA-explicit-path-pri-path] quit
```

配置主 CRLSP 的 MPLS TE 隧道 Tunnel4：目的地址为 Switch D 的 LSR ID（4.4.4.4）；采用 RSVP-TE 信令协议建立 MPLS TE 隧道；隧道引用显式路径 pri-path。

```
[SwitchA] interface tunnel 4 mode mpls-te
[SwitchA-Tunnel4] ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
[SwitchA-Tunnel4] destination 4.4.4.4
[SwitchA-Tunnel4] mpls te signaling rsvp-te
[SwitchA-Tunnel4] mpls te path preference 1 explicit-path pri-path
```

开启 MPLS TE 隧道的 FRR 功能。

```
[SwitchA-Tunnel4] mpls te fast-reroute
[SwitchA-Tunnel4] quit
```

配置完成后, 在 Switch A 上执行 **display interface tunnel** 命令, 可以看到 Tunnel4 的状态为 up。

```
[SwitchA] display interface tunnel
Tunnel4
Current state: UP
Line protocol current state: UP
Description: Tunnel4 Interface
Bandwidth: 64kbps
Maximum transmission unit: 1496
Internet address: 10.1.1.1/24 (primary)
Tunnel source unknown, destination 4.4.4.4
Tunnel TTL 255
Tunnel protocol/transport CR_LSP
Last clearing of counters: Never
Last 300 seconds input rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Last 300 seconds output rate: 1911 bytes/sec, 15288 bits/sec, 0 packets/sec
Input: 0 packets input, 0 bytes, 0 drops
Output: 1526 packets output, 22356852 bytes, 0 drops
```

在 Switch A 上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令, 可以看到隧道接口的详细信息。

```
[SwitchA] display mpls te tunnel-interface
Tunnel Name          : Tunnel 4
Tunnel State         : Up (Main CRLSP up. Shared-resource CRLSP down)
Tunnel Attributes   :
  LSP ID              : 48960          Tunnel ID            : 4
  Admin State         : Normal
  Ingress LSR ID     : 1.1.1.1        Egress LSR ID       : 3.3.3.3
  Signaling           : RSVP-TE       Static CRLSP Name   : -
  Resv Style         : SE
  Tunnel mode        : -
  Reverse-LSP name   : -
  Reverse-LSP LSR ID : -             Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type         : CT0            Tunnel Bandwidth    : 0 kbps
  Reserved Bandwidth : 0 kbps
  Setup Priority     : 7              Holding Priority    : 7
  Affinity Attr/Mask : 0/0
  Explicit Path      : pri-path
  Backup Explicit Path : -
  Metric Type        : TE
  Record Route       : Enabled        Record Label        : Enabled
  FRR Flag           : Enabled        Bandwidth Protection : Disabled
  Backup Bandwidth Flag: Disabled     Backup Bandwidth Type: -
  Backup Bandwidth   : -
  Bypass Tunnel      : No             Auto Created        : No
  Route Pinning      : Disabled
  Retry Limit        : 10             Retry Interval       : 2 sec
  Reoptimization     : Disabled       Reoptimization Freq : -
  Backup Type        : None           Backup LSP ID       : -
```



```

Auto Bandwidth      : Disabled      Auto Bandwidth Freq : -
Min Bandwidth       : -              Max Bandwidth       : -
Collected Bandwidth : -            Service-Class       : -

```

(5) 在作为 PLR 的 Switch B 上配置 Bypass 隧道

配置 Bypass 隧道的显式路径。

```

[SwitchB] explicit-path by-path
[SwitchB-explicit-path-by-path] nexthop 3.2.1.2
[SwitchB-explicit-path-by-path] nexthop 3.3.1.2
[SwitchB-explicit-path-by-path] nexthop 3.3.3.3
[SwitchB-explicit-path-by-path] quit

```

配置隧道 Tunnel5: 目的地址为 Switch C 的 LSR ID (3.3.3.3); 采用 RSVP-TE 信令协议建立 MPLS TE 隧道; 隧道引用显式路径 by-path。

```

[SwitchB] interface tunnel 5 mode mpls-te
[SwitchB-Tunnel5] ip address 11.1.1.1 255.255.255.0
[SwitchB-Tunnel5] destination 3.3.3.3
[SwitchB-Tunnel5] mpls te signaling rsvp-te
[SwitchB-Tunnel5] mpls te path preference 1 explicit-path by-path

```

配置 Bypass 隧道可保护的带宽。

```

[SwitchB-Tunnel5] mpls te backup bandwidth un-limited
[SwitchB-Tunnel5] quit

```

将 Bypass 隧道绑定到被保护的接口。

```

[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te fast-reroute bypass-tunnel tunnel 5
[SwitchB-Vlan-interface2] quit

```

配置完成后, 在 Switch B 上执行 **display interface tunnel** 命令可以看到接口 Tunnel5 的状态为 up。

(6) 配置静态路由使流量沿 MPLS TE 隧道转发

在 Switch A 上配置静态路由, 使得到达网络 100.1.2.0/24 的流量通过 MPLS TE 隧道接口 Tunnel4 转发。

```

[SwitchA] ip route-static 100.1.2.0 24 tunnel 4 preference 1

```

4. 验证配置

在所有设备上执行 **display mpls lsp** 命令, 可以看到 LSP 表项。在 Switch B 和 Switch C 上存在两条 LSP, 通过 Bypass 隧道保护主 CRLSP。

```

[SwitchA] display mpls lsp
FEC                               Proto   In/Out Label   Interface/Out NHLFE
1.1.1.1/4/61400                  RSVP   -/1245      Vlan1
2.1.1.2                           Local   -/-         Vlan1
[SwitchB] display mpls lsp
FEC                               Proto   In/Out Label   Interface/Out NHLFE
1.1.1.1/4/614000                 RSVP   1245/3      Vlan2
Backup                           RSVP   1245/3      Tun5
2.2.2.2/5/30914                  RSVP   -/1150      Vlan2
3.2.1.2                           Local   -/-         Vlan4
3.1.1.2                           Local   -/-         Vlan2
[SwitchE] display mpls lsp

```

FEC	Proto	In/Out Label	Interface/Out NHLFE
2.2.2.2/5/30914	RSVP	1150/3	Vlan5
3.3.1.2	Local	-/-	Vlan5

在 PLR 上 **shutdown** 被保护的出接口 Vlan-interface2。

```
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] shutdown
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
```

在 Switch A 上执行 **display interface tunnel 4** 命令查看主 CRLSP 的状态，可以看到 Tunnel 接口仍然处于 up 状态。

在 Switch A 上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令，可以看到隧道接口的详细信息。

```
[SwitchA] display mpls te tunnel-interface
Tunnel Name          : Tunnel 4
Tunnel State         : Up (Main CRLSP up. Shared-resource CRLSP being set up)
Tunnel Attributes    :
  LSP ID              : 18753          Tunnel ID           : 4
  Admin State         : Normal
  Ingress LSR ID     : 1.1.1.1        Egress LSR ID       : 3.3.3.3
  Signaling           : RSVP-TE       Static CRLSP Name   : -
  Resv Style          : SE
  Tunnel mode         : -
  Reverse-LSP name    : -
  Reverse-LSP LSR ID : -             Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type          : CT0           Tunnel Bandwidth     : 0 kbps
  Reserved Bandwidth : 0 kbps
  Setup Priority      : 7             Holding Priority     : 7
  Affinity Attr/Mask : 0/0
  Explicit Path       : pri-path
  Backup Explicit Path : -
  Metric Type         : TE
  Record Route        : Enabled       Record Label         : Enabled
  FRR Flag            : Enabled       Bandwidth Protection : Disabled
  Backup Bandwidth Flag: Disabled     Backup Bandwidth Type: -
  Backup Bandwidth    : -
  Bypass Tunnel       : No           Auto Created         : No
  Route Pinning       : Disabled
  Retry Limit         : 10           Retry Interval       : 2 sec
  Reoptimization      : Disabled     Reoptimization Freq : -
  Backup Type         : None         Backup LSP ID        : -
  Auto Bandwidth      : Disabled     Auto Bandwidth Freq : -
  Min Bandwidth       : -           Max Bandwidth        : -
  Collected Bandwidth : -         Service-Class        : -
```



说明

如果在 FRR 切换后马上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令查看隧道接口的详细信息，会看到两条处于 up 状态的 CRLSP。这是因为 FRR 采用 make-before-break 方式建立新的 LSP，旧的 LSP 在新 LSP 建立成功后过一段时间才被删除。

在 Switch B 上执行 **display mpls lsp** 命令，可以看到 Bypass 隧道被使用。

```
[SwitchB] display mpls lsp
FEC                               Proto   In/Out Label   Interface/Out NHLFE
1.1.1.1/4/61400                   RSVP    1136/3   Tun5
2.2.2.2/5/30914                   RSVP    -/1149   Vlan4
3.2.1.2                             Local   -/-      Vlan4
```

在 PLR 上配置在多条旁路隧道中进行优选的时间间隔为 5 秒。

```
[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] fast-reroute timer 5
[SwitchB-te] quit
```

在 PLR 上 **undo shutdown** 被保护的出接口 Vlan-interface2。

```
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] undo shutdown
```

在 Switch A 上执行 **display interface tunnel 4** 命令查看主 CRLSP 的状态，可以看到 Tunnel 接口处于 up 状态。

等待约 5 秒钟后，在 Switch B 上执行 **display mpls lsp verbose** 命令，可以看到 Tunnel5 仍绑定到出接口 Vlan-interface2，但未被使用。

在 Switch A 上执行 **display ip routing-table** 命令，可以看到路由表中有以 Tunnel4 为出接口的静态路由信息。

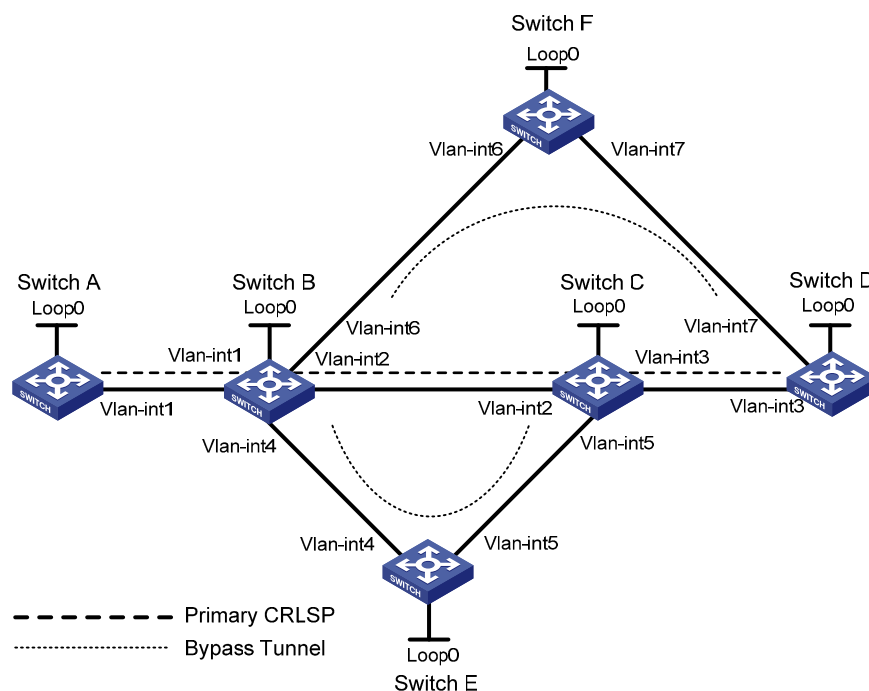
1.22.8 配置自动快速重路由示例

1. 组网需求

- 使用 RSVP-TE 信令协议、基于显式路径约束条件建立主 CRLSP。主 CRLSP 使用的路径为 Switch A→Switch B→Switch C→Switch D。
- 在 Switch B 上配置自动隧道备份功能，自动为主 CRLSP 建立 Bypass 隧道。
- 在 Switch B 和 Switch C 之间配置 RSVP-TE 与 BFD 联动，当 Switch B 和 Switch C 之间的链路出现故障后，BFD 能够快速检测并通告 RSVP-TE 协议，以便快速将流量切换到 Bypass 隧道。

2. 组网图

图1-16 MPLS TE 自动快速重路由配置组网图



设备	接口	IP地址	设备	接口	IP地址
Switch A	Loop0	1.1.1.1/32	Switch E	Loop0	5.5.5.5/32
	Vlan-int1	2.1.1.1/24		Vlan-int4	3.2.1.2/24
Switch B	Loop0	2.2.2.2/32	Switch C	Loop0	3.3.3.3/32
	Vlan-int1	2.1.1.2/24		Vlan-int3	4.1.1.1/24
	Vlan-int2	3.1.1.1/24		Vlan-int2	3.1.1.2/24
	Vlan-int4	3.2.1.1/24		Vlan-int5	3.4.1.2/24
Switch D	Vlan-int6	3.3.1.1/24	Switch F	Loop0	6.6.6.6/32
	Vlan-int7	4.2.1.2/24		Vlan-int6	3.3.1.2/24
	Vlan-int3	4.1.1.2/24		Vlan-int7	4.2.1.1/24

3. 配置步骤



说明

进行下面配置之前，需要先全局关闭 STP 功能，或为每个 VLAN 映射一个 MSTP 实例。具体配置方法请参见“二层技术-以太网交换配置指导”中的“生成树”。

(1) 配置各接口的 IP 地址

按照图 1-16 配置各接口的 IP 地址和掩码，包括各 Loopback 接口，具体配置过程略。

(2) 配置 IS-IS 协议发布接口所在网段的路由，包括 Loopback 接口（具体配置过程略）

- (3) 配置 LSR ID, 开启 MPLS、MPLS TE 和 RSVP-TE 能力, 并在 Switch B 和 Switch C 之间配置 RSVP-TE 与 BFD 联动, 以检测 Switch B 与 Switch C 之间链路的状态

配置 Switch A。

```
<SwitchA> system-view
[SwitchA] mpls lsr-id 1.1.1.1
[SwitchA] mpls te
[SwitchA-te] quit
[SwitchA] rsvp
[SwitchA-rsvp] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchA-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchA-Vlan-interface1] quit
```

配置 Switch B。

```
<SwitchB> system-view
[SwitchB] mpls lsr-id 2.2.2.2
[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] quit
[SwitchB] rsvp
[SwitchB-rsvp] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface2] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface2] rsvp bfd enable
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 4
[SwitchB-Vlan-interface4] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface4] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface4] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface4] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 6
[SwitchB-Vlan-interface6] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface6] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface6] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface6] quit
```

Switch C 的配置与 Switch B 的配置相似, Switch D、Switch E、Switch F 的配置与 Switch A 的配置相似, 此处不再赘述。

- (4) 在主 CRLSP 的 Ingress 节点 Switch A 上建立 MPLS TE 隧道

配置主 CRLSP 的显式路径。

```
[SwitchA] explicit-path pri-path
```

```
[SwitchA-explicit-path-pri-path] nexthop 2.1.1.2
[SwitchA-explicit-path-pri-path] nexthop 3.1.1.2
[SwitchA-explicit-path-pri-path] nexthop 4.1.1.2
[SwitchA-explicit-path-pri-path] nexthop 4.4.4.4
[SwitchA-explicit-path-pri-path] quit
```

配置主 CRLSP 的 MPLS TE 隧道 Tunnel1: 目的地址为 Switch D 的 LSR ID (4.4.4.4); 采用 RSVP-TE 信令协议建立 MPLS TE 隧道; 隧道引用显式路径 pri-path。

```
[SwitchA] interface tunnel 1 mode mpls-te
[SwitchA-Tunnel1] ip address 10.1.1.1 255.255.255.0
[SwitchA-Tunnel1] destination 4.4.4.4
[SwitchA-Tunnel1] mpls te signaling rsvp-te
[SwitchA-Tunnel1] mpls te path preference 1 explicit-path pri-path
```

开启 MPLS TE 隧道的 FRR 功能。

```
[SwitchA-Tunnel1] mpls te fast-reroute
[SwitchA-Tunnel1] quit
```

配置完成后, 在 Switch A 上执行 **display interface tunnel** 命令, 可以看到 Tunnel1 的状态为 up。

```
[SwitchA] display interface tunnel
Tunnel1
Current state: UP
Line protocol state: UP
Description: Tunnel1 Interface
Bandwidth: 64kbps
Maximum transmission unit: 1496
Internet address: 10.1.1.1/24 (primary)
Tunnel source unknown, destination 4.4.4.4
Tunnel TTL 255
Tunnel protocol/transport CR_LSP
Last clearing of counters: Never
Last 300 seconds input rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Last 300 seconds output rate: 1911 bytes/sec, 15288 bits/sec, 0 packets/sec
Input: 0 packets input, 0 bytes, 0 drops
Output: 1526 packets output, 22356852 bytes, 0 drops
```

在 Switch A 上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令, 可以看到隧道接口的详细信息。

```
[SwitchA] display mpls te tunnel-interface
Tunnel Name          : Tunnel 1
Tunnel State         : Up (Main CRLSP up. Shared-resource CRLSP down)
Tunnel Attributes   :
  LSP ID              : 16802          Tunnel ID           : 1
  Admin State         : Normal
  Ingress LSR ID     : 2.2.2.2        Egress LSR ID       : 4.4.4.4
  Signaling           : RSVP-TE       Static CRLSP Name   : -
  Resv Style          : SE
  Tunnel mode         : -
  Reverse-LSP name    : -
  Reverse-LSP LSR ID : -             Reverse-LSP Tunnel ID: -
```

```

Class Type           : CT0           Tunnel Bandwidth      : 0 kbps
Reserved Bandwidth  : 0 kbps
Setup Priority       : 7             Holding Priority       : 7
Affinity Attr/Mask  : 0/0
Explicit Path       : expl
Backup Explicit Path : -
Metric Type         : TE
Record Route        : Enabled        Record Label          : Enabled
FRR Flag            : Enabled        Bandwidth Protection  : Disabled
Backup Bandwidth Flag: Disabled      Backup Bandwidth Type: -
Backup Bandwidth    : -
Bypass Tunnel       : No             Auto Created          : No
Route Pinning       : Disabled
Retry Limit         : 3             Retry Interval        : 2 sec
Reoptimization     : Disabled      Reoptimization Freq   : -
Backup Type        : None           Backup LSP ID         : -
Auto Bandwidth     : Disabled      Auto Bandwidth Freq   : -
Min Bandwidth      : -             Max Bandwidth         : -
Collected Bandwidth : -           Service-Class         : -

```

(5) 在作为 PLR 的 Switch B 上配置自动隧道备份功能

全局开启自动隧道备份功能，并配置自动创建的 Bypass 隧道接口编号范围为 50~100。

```

[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] auto-tunnel backup
[SwitchB-te-auto-bk] tunnel-number min 50 max 100
[SwitchB-te-auto-bk] quit

```

4. 验证配置

在 Switch B 上执行 **display interface tunnel brief** 命令，可以看到自动创建了两条隧道。

```

[SwitchB] display interface tunnel brief
Brief information on interfaces in route mode:
Link: ADM - administratively down; Stby - standby
Protocol: (s) - spoofing

```

Interface	Link	Protocol	Primary IP	Description
Tun50	UP	DOWN	--	
Tun51	UP	DOWN	--	

在 Switch B 上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令，查看 Tunnel50 和 Tunnel51 的信息，可以看到该隧道为自动创建的 Bypass 隧道，且 Tunnel50 为节点保护类型的 Bypass 隧道（Egress LSR ID 为 4.4.4.4，Switch D 的 LSR ID），Tunnel51 为链路保护类型的 Bypass 隧道（Egress LSR ID 为 3.3.3.3，Switch C 的 LSR ID）

```

[SwitchB] display mpls te tunnel-interface tunnel 50
Tunnel Name           : Tunnel 50
Tunnel State          : Up (Main CRLSP up. Shared-resource CRLSP down)
Tunnel Attributes     :
  LSP ID               : 16802           Tunnel ID             : 50
  Admin State          : Normal
  Ingress LSR ID      : 2.2.2.2         Egress LSR ID        : 4.4.4.4

```

```

Signaling          : RSVP-TE          Static CRLSP Name   : -
Resv Style         : SE
Tunnel mode        : -
Reverse-LSP name   : -
Reverse-LSP LSR ID : -              Reverse-LSP Tunnel ID: -
Class Type         : CT0              Tunnel Bandwidth    : 0 kbps
Reserved Bandwidth : 0 kbps
Setup Priority     : 7                 Holding Priority     : 7
Affinity Attr/Mask : 0/0
Explicit Path      : -
Backup Explicit Path : -
Metric Type        : TE
Record Route       : Enabled          Record Label        : Disabled
FRR Flag           : Disabled         Bandwidth Protection : Disabled
Backup Bandwidth Flag: Disabled      Backup Bandwidth Type: -
Backup Bandwidth   : -
Bypass Tunnel      : Yes              Auto Created        : Yes
Route Pinning      : Disabled
Retry Limit        : 3                 Retry Interval       : 2 sec
Reoptimization     : Disabled         Reoptimization Freq : -
Backup Type        : None              Backup LSP ID        : -
Auto Bandwidth     : Disabled         Auto Bandwidth Freq : -
Min Bandwidth      : -                 Max Bandwidth        : -
Collected Bandwidth : -             Service-Class        : -
[SwitchB] display mpls te tunnel-interface tunnel 51
Tunnel Name        : Tunnel 51
Tunnel State       : Up (Main CRLSP up. Shared-resource CRLSP down)
Tunnel Attributes  :
  LSP ID           : 16802             Tunnel ID           : 51
  Admin State      : Normal
  Ingress LSR ID   : 2.2.2.2           Egress LSR ID      : 3.3.3.3
  Signaling        : RSVP-TE          Static CRLSP Name   : -
  Resv Style       : SE
  Tunnel mode      : -
  Reverse-LSP name : -
  Reverse-LSP LSR ID : -              Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type       : CT0              Tunnel Bandwidth    : 0 kbps
  Reserved Bandwidth : 0 kbps
  Setup Priority   : 7                 Holding Priority     : 7
  Affinity Attr/Mask : 0/0
  Explicit Path    : -
  Backup Explicit Path : -
  Metric Type      : TE
  Record Route     : Enabled          Record Label        : Disabled
  FRR Flag         : Disabled         Bandwidth Protection : Disabled
  Backup Bandwidth Flag: Disabled      Backup Bandwidth Type: -
  Backup Bandwidth : -
  Bypass Tunnel    : Yes              Auto Created        : Yes

```



```

Route Pinning      : Disabled
Retry Limit       : 3                Retry Interval    : 2 sec
Reoptimization    : Disabled        Reoptimization Freq : -
Backup Type       : None            Backup LSP ID     : -
Auto Bandwidth    : Disabled        Auto Bandwidth Freq : -
Min Bandwidth     : -              Max Bandwidth     : -
Collected Bandwidth : -          Service-Class     : -

```

在 Switch B 上执行 **display mpls lsp** 命令，可以看到当前用来保护主 CRLSP 的 Bypass 隧道是 Tunnel50。

```

[SwitchB] display mpls lsp
FEC                Proto  In/Out Label  Interface/Out NHLFE
2.2.2.2/51/16802   RSVP  -/3          Vlan4
2.2.2.2/1/16802   RSVP  -/1151       Vlan2
Backup             -/3          Tun50
2.2.2.2/50/16802   RSVP  -/3          Vlan6
3.2.1.2           Local  -/-         Vlan6
3.3.1.2           Local  -/-         Vlan6

```

在 Switch A 上执行 **display rsvp lsp verbose** 命令，查看 Tunnel ID 为 1 的 MPLS TE 隧道的详细信息，可以看到主 CRLSP Tunnel1 被节点保护类型的自动隧道 Tunnel50 保护。

```

[SwitchA] display rsvp lsp tunnel-id 1 verbose
Tunnel name: SwitchA_t1
Destination: 4.4.4.4                Source: 1.1.1.1
Tunnel ID: 1                        LSP ID: 16802
LSR type: Ingress                   Direction: Unidirectional
Setup priority: 7                   Holding priority: 7
In-Label: -                          Out-Label: 1150
In-Interface: -                     Out-Interface: Vlan1
NextHop: 2.1.1.2                    Exclude-any: 0
Include-Any: 0                       Include-all: 0
Average bitrate: 0 kbps              Maximum burst: 1000.00 bytes
Path MTU: 1500                       Class type: CT0
RRO number: 12
  2.1.1.1/32      Flag: 0x00 (No FRR)
  2.1.1.2/32      Flag: 0x00 (No FRR)
  1150            Flag: 0x01 (Global label)
  2.2.2.2/32      Flag: 0x20 (No FRR/Node-ID)
  3.1.1.1/32      Flag: 0x09 (FRR Avail/Node-Prot)
  3.1.1.2/32      Flag: 0x00 (No FRR)
  1151            Flag: 0x01 (Global label)
  3.3.3.3/32      Flag: 0x20 (No FRR/Node-ID)
  4.1.1.1/32      Flag: 0x00 (No FRR)
  4.1.1.2/32      Flag: 0x00 (No FRR)
  3               Flag: 0x01 (Global label)
  4.4.4.4/32      Flag: 0x20 (No FRR/Node-ID)
Fast Reroute protection: Ready
FRR inner label: 3                   Bypass tunnel: Tunnel50

```

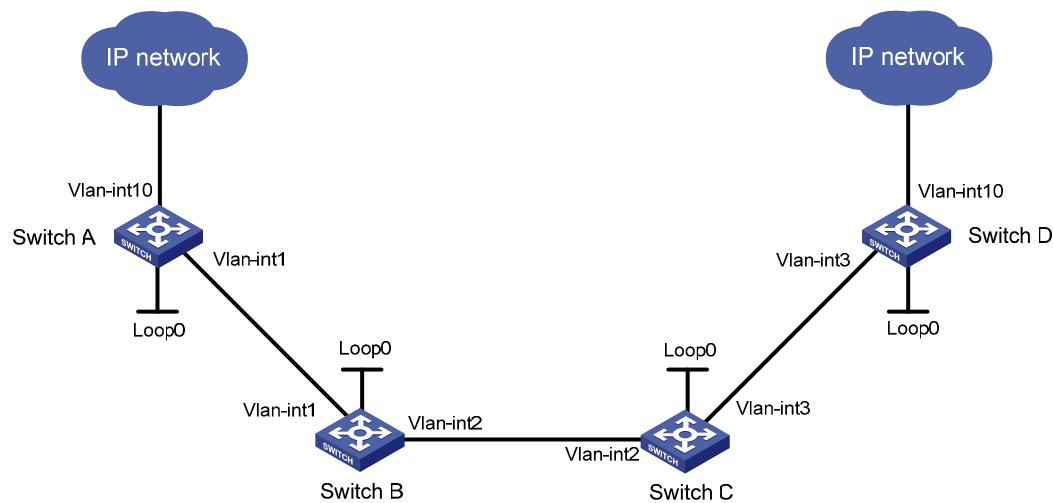
1.22.9 配置IETF DS-TE模式MPLS TE隧道示例

1. 组网需求

- 设备 Switch A、Switch B、Switch C 和 Switch D 运行 IS-IS，且都是 Level-2 设备；
- 使用 RSVP-TE 建立一条从 Switch A 到 Switch D 的 MPLS TE 隧道，实现两个 IP 网络通过 MPLS TE 隧道传输数据流量，该隧道的流量属于 CT 2，所需带宽为 4000kbps；
- 隧道沿途的链路最大带宽为 10000kbps，链路最大可预留带宽为 10000kbps，BC 1 的最大可预留带宽为 8000kbps，BC 2 的最大可预留带宽为 5000kbps，BC 3 的最大可预留带宽为 2000kbps。

2. 组网图

图1-17 IETF DS-TE 配置组网图



设备	接口	IP地址	设备	接口	IP地址
Switch A	Loop0	1.1.1.9/32	Switch D	Loop0	4.4.4.9/32
	Vlan-int1	10.1.1.1/24		Vlan-int3	30.1.1.2/24
	Vlan-int10	100.1.1.1/24		Vlan-int10	100.1.2.1/24
Switch B	Loop0	2.2.2.9/32	Switch C	Loop0	3.3.3.9/32
	Vlan-int1	10.1.1.2/24		Vlan-int3	30.1.1.1/24
	Vlan-int2	20.1.1.1/24		Vlan-int2	20.1.1.2/24

3. 配置步骤

(1) 配置各接口的 IP 地址

按照 图 1-17 配置各接口的 IP 地址和掩码，具体配置过程略。

(2) 配置 IS-IS 协议发布接口所在网段的路由，包括 Loopback 接口

配置 Switch A。

```
<SwitchA> system-view
[SwitchA] isis 1
[SwitchA-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0001.00
[SwitchA-isis-1] quit
```

```
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interfacel] isis enable 1
[SwitchA-Vlan-interfacel] isis circuit-level level-2
[SwitchA-Vlan-interfacel] quit
[SwitchA] interface loopback 0
[SwitchA-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchA-LoopBack0] isis circuit-level level-2
[SwitchA-LoopBack0] quit
```

配置 Switch B。

```
<SwitchB> system-view
[SwitchB] isis 1
[SwitchB-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0002.00
[SwitchB-isis-1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interfacel] isis enable 1
[SwitchB-Vlan-interfacel] isis circuit-level level-2
[SwitchB-Vlan-interfacel] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] isis enable 1
[SwitchB-Vlan-interface2] isis circuit-level level-2
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
[SwitchB] interface loopback 0
[SwitchB-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchB-LoopBack0] isis circuit-level level-2
[SwitchB-LoopBack0] quit
```

配置 Switch C。

```
<SwitchC> system-view
[SwitchC] isis 1
[SwitchC-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0003.00
[SwitchC-isis-1] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 3
[SwitchC-Vlan-interface3] isis enable 1
[SwitchC-Vlan-interface3] isis circuit-level level-2
[SwitchC-Vlan-interface3] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] isis enable 1
[SwitchC-Vlan-interface2] isis circuit-level level-2
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
[SwitchC] interface loopback 0
[SwitchC-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchC-LoopBack0] isis circuit-level level-2
[SwitchC-LoopBack0] quit
```

配置 Switch D。

```
<SwitchD> system-view
[SwitchD] isis 1
[SwitchD-isis-1] network-entity 00.0005.0000.0000.0004.00
[SwitchD-isis-1] quit
[SwitchD] interface vlan-interface 3
```

```

[SwitchD-Vlan-interface3] isis enable 1
[SwitchD-Vlan-interface3] isis circuit-level level-2
[SwitchD-Vlan-interface3] quit
[SwitchD] interface loopback 0
[SwitchD-LoopBack0] isis enable 1
[SwitchD-LoopBack0] isis circuit-level level-2
[SwitchD-LoopBack0] quit

```

配置完成后，在各设备上执行 **display ip routing-table** 命令，可以看到相互之间都学到了到对方的路由，包括 **Loopback** 接口对应的主机路由。以 **Switch A** 为例：

```

[SwitchA] display ip routing-table
Destinations : 10          Routes : 10
Destination/Mask    Proto  Pre Cost       NextHop           Interface
1.1.1.9/32          Direct  0   0             127.0.0.1         InLoop0
2.2.2.9/32          IS_L1  15  10            10.1.1.2          Vlan1
3.3.3.9/32          IS_L1  15  20            10.1.1.2          Vlan1
4.4.4.9/32          IS_L1  15  30            10.1.1.2          Vlan1
10.1.1.0/24         Direct  0   0             10.1.1.1          Vlan1
10.1.1.1/32         Direct  0   0             127.0.0.1         InLoop0
20.1.1.0/24         IS_L1  15  20            10.1.1.2          Vlan1
30.1.1.0/24         IS_L1  15  30            10.1.1.2          Vlan1
127.0.0.0/8         Direct  0   0             127.0.0.1         InLoop0
127.0.0.1/32        Direct  0   0             127.0.0.1         InLoop0

```

(3) 配置 LSR ID，开启 MPLS、MPLS TE 和 RSVP-TE 能力，并将 DS-TE 模式配置为 IETF 模式

配置 Switch A。

```

[SwitchA] mpls lsr-id 1.1.1.9
[SwitchA] mpls te
[SwitchA-te] ds-te mode ietf
[SwitchA-te] quit
[SwitchA] rsvp
[SwitchA-rsvp] quit
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchA-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchA-Vlan-interface1] quit

```

配置 Switch B。

```

[SwitchB] mpls lsr-id 2.2.2.9
[SwitchB] mpls te
[SwitchB-te] ds-te mode ietf
[SwitchB-te] quit
[SwitchB] rsvp
[SwitchB-rsvp] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface1] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface1] quit

```

```
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchB-Vlan-interface2] rsvp enable
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
```

配置 Switch C。

```
[SwitchC] mpls lsr-id 3.3.3.9
[SwitchC] mpls te
[SwitchC-te] ds-te mode ietf
[SwitchC-te] quit
[SwitchC] rsvp
[SwitchC-rsvp] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 3
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls enable
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls te enable
[SwitchC-Vlan-interface3] rsvp enable
[SwitchC-Vlan-interface3] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls enable
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te enable
[SwitchC-Vlan-interface2] rsvp enable
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
```

配置 Switch D。

```
[SwitchD] mpls lsr-id 4.4.4.9
[SwitchD] mpls te
[SwitchD-te] ds-te mode ietf
[SwitchD-te] quit
[SwitchD] rsvp
[SwitchD-rsvp] quit
[SwitchD] interface vlan-interface 3
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls enable
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls te enable
[SwitchD-Vlan-interface3] rsvp enable
[SwitchD-Vlan-interface3] quit
```

(4) 配置 IS-IS TE

配置 Switch A。

```
[SwitchA] isis 1
[SwitchA-isis-1] cost-style wide
[SwitchA-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchA-isis-1] quit
```

配置 Switch B。

```
[SwitchB] isis 1
[SwitchB-isis-1] cost-style wide
[SwitchB-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchB-isis-1] quit
```

配置 Switch C。

```
[SwitchC] isis 1
```

```
[SwitchC-isis-1] cost-style wide
[SwitchC-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchC-isis-1] quit
```

配置 SwitchD。

```
[SwitchD] isis 1
[SwitchD-isis-1] cost-style wide
[SwitchD-isis-1] mpls te enable level-2
[SwitchD-isis-1] quit
```

(5) 配置链路的 MPLS TE 属性

在 Switch A 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchA] interface vlan-interface 1
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchA-Vlan-interface1] mpls te max-reservable-bandwidth rdm 10000 bc1 8000 bc2 5000
bc3 2000
[SwitchA-Vlan-interface1] quit
```

在 Switch B 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchB] interface vlan-interface 1
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchB-Vlan-interface1] mpls te max-reservable-bandwidth rdm 10000 bc1 8000 bc2 5000
bc3 2000
[SwitchB-Vlan-interface1] quit
[SwitchB] interface vlan-interface 2
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchB-Vlan-interface2] mpls te max-reservable-bandwidth rdm 10000 bc1 8000 bc2 5000
bc3 2000
[SwitchB-Vlan-interface2] quit
```

在 Switch C 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchC] interface vlan-interface 3
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchC-Vlan-interface3] mpls te max-reservable-bandwidth rdm 10000 bc1 8000 bc2 5000
bc3 2000
[SwitchC-Vlan-interface3] quit
[SwitchC] interface vlan-interface 2
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchC-Vlan-interface2] mpls te max-reservable-bandwidth rdm 10000 bc1 8000 bc2 5000
bc3 2000
[SwitchC-Vlan-interface2] quit
```

在 Switch D 上配置链路的最大带宽和最大可预留带宽。

```
[SwitchD] interface vlan-interface 3
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls te max-link-bandwidth 10000
[SwitchD-Vlan-interface3] mpls te max-reservable-bandwidth rdm 10000 bc1 8000 bc2 5000
bc3 2000
[SwitchD-Vlan-interface3] quit
```

(6) 配置 MPLS TE 隧道

在 Switch A 上配置 MPLS TE 隧道 Tunnel1：目的地址为 Switch D 的 LSR ID (4.4.4.9)；采用 RSVP-TE 信令协议建立 MPLS TE 隧道；隧道的流量属于 CT 2，所需带宽为 4000kbps；隧道的建立和保持优先级均为 0。

```

[SwitchA] interface Tunnel 1 mode mpls-te
[SwitchA-Tunnel1] ip address 7.1.1.1 255.255.255.0
[SwitchA-Tunnel1] destination 4.4.4.9
[SwitchA-Tunnel1] mpls te signaling rsvp-te
[SwitchA-Tunnel1] mpls te bandwidth ct2 4000
[SwitchA-Tunnel1] mpls te priority 0
[SwitchA-Tunnel1] quit

```

(7) 配置静态路由使流量沿 MPLS TE 隧道转发

在 Switch A 上配置静态路由，使得到达网络 100.1.2.0/24 的流量通过 MPLS TE 隧道接口 Tunnel1 转发。

```
[SwitchA] ip route-static 100.1.2.0 24 tunnel 1 preference 1
```

4. 验证配置

配置完成后，在 Switch A 上执行 **display interface tunnel** 命令可以看到隧道接口状态为 up。

```

[SwitchA] display interface tunnel
Tunnel4
Current state: UP
Line protocol current state: UP
Description: Tunnel4 Interface
Bandwidth: 64kbps
Maximum transmission unit: 1496
Internet address: 7.1.1.1/24 (primary)
Tunnel source unknown, destination 4.4.4.9
Tunnel TTL 255
Tunnel protocol/transport CR_LSP
Last clearing of counters: Never
Last 300 seconds input rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Last 300 seconds output rate: 0 bytes/sec, 0 bits/sec, 0 packets/sec
Input: 0 packets, 0 bytes, 0 drop
Output: 0 packets, 0 bytes, 0 drop

```

在 Switch A 上执行 **display mpls te tunnel-interface** 命令可以看到隧道的详细信息。

```

[SwitchA] display mpls te tunnel-interface
Tunnel Name          : Tunnel 1
Tunnel State         : Up (Main CRLSP up. Shared-resource CRLSP down)
Tunnel Attributes    :
  LSP ID              : 36882          Tunnel ID           : 1
  Admin State         : Normal
  Ingress LSR ID     : 1.1.1.9        Egress LSR ID      : 4.4.4.9
  Signaling           : RSVP-TE       Static CRLSP Name   : -
  Resv Style         : SE
  Tunnel mode         : -
  Reverse-LSP name    : -
  Reverse-LSP LSR ID : -             Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type          : CT2           Tunnel Bandwidth    : 4000 kbps
  Reserved Bandwidth : 4000 kbps
  Setup Priority      : 0              Holding Priority     : 0
  Affinity Attr/Mask : 0/0

```

```

Explicit Path          : -
Backup Explicit Path  : -
Metric Type           : TE
Record Route          : Disabled      Record Label          : Disabled
FRR Flag              : Disabled      Bandwidth Protection   : Disabled
Backup Bandwidth Flag: Disabled      Backup Bandwidth Type: -
Backup Bandwidth      : -
Bypass Tunnel         : No            Auto Created           : No
Route Pinning         : Disabled
Retry Limit           : 10            Retry Interval         : 2 sec
Reoptimization        : Disabled      Reoptimization Freq   : -
Backup Type           : None          Backup LSP ID          : -
Auto Bandwidth        : Disabled      Auto Bandwidth Freq   : -
Min Bandwidth         : -            Max Bandwidth          : -
Collected Bandwidth : -            Service-Class         : -

```

在 Switch A 上执行 **display mpls te link-management bandwidth-allocation** 命令查看接口带宽信息。

```
[SwitchA] display mpls te link-management bandwidth-allocation interface vlan-interface 1
Interface: Vlan-interfacel
```

```

Max Link Bandwidth          : 10000 kbps
Max Reservable Bandwidth of Prestandard RDM : 0 kbps
Max Reservable Bandwidth of IETF RDM       : 10000 kbps
Max Reservable Bandwidth of IETF MAM       : 0 kbps
Allocated Bandwidth-Item Count : 1
Allocated Bandwidth         : 0 kbps
Physical Link Status        : Up

```

BC	Prestandard RDM(kbps)	IETF RDM(kbps)	IETF MAM(kbps)
0	0	10000	0
1	0	8000	0
2	-	5000	0
3	-	2000	0

```

TE Class   Class Type   Priority   BW Reserved(kbps)   BW Available(kbps)
0          0             0         0                   0
1          0             1         0                   0
2          0             2         0                   0
3          0             3         0                   0
4          0             4         0                   0
5          0             5         0                   0
6          0             6         0                   0
7          0             7         0                   0

```

在 Switch A 上执行 **display ip routing-table** 命令，可以看到路由表中有以 Tunnel1 为出口的静态路由信息。

1.22.10 配置CBTS示例

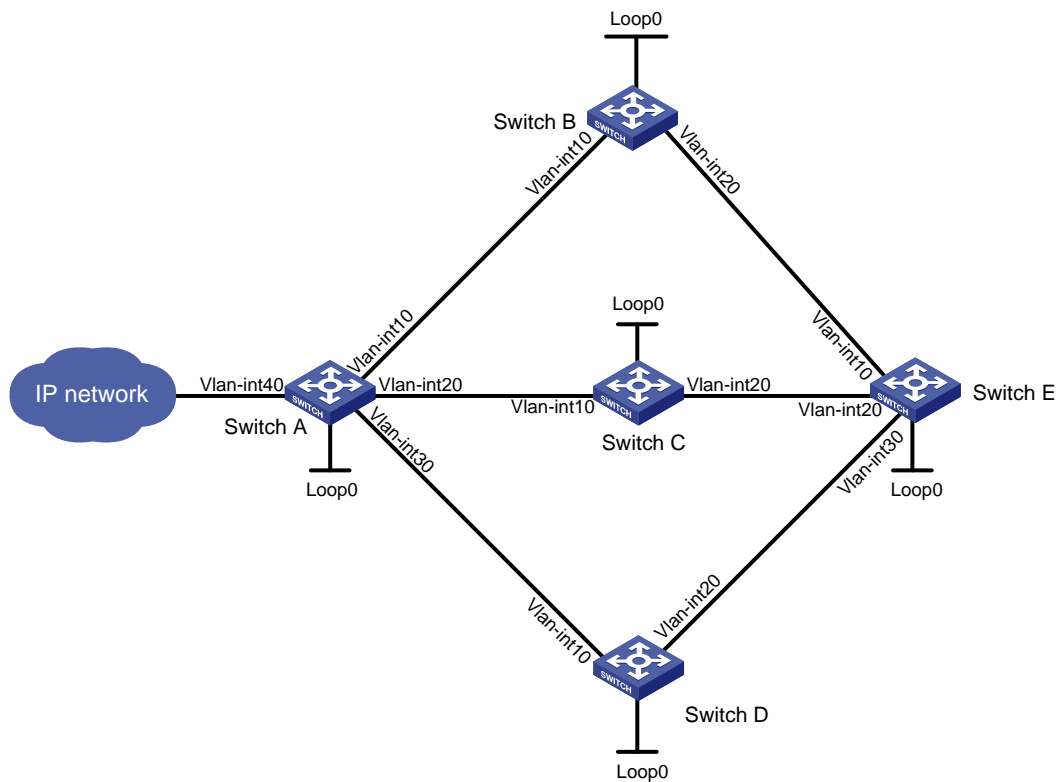
1. 组网需求

- 所有设备都运行 IS-IS;

- 使用 RSVP-TE 方式建立从 Switch A 到 Switch E 的 MPLS TE 隧道；
- 对不同的隧道配置不同的隧道转发类，能基于流量的转发类选择对应的隧道进行转发。

2. 组网图

图1-18 CBTS 组网图



设备	接口	IP地址	设备	接口	IP地址
Switch A	Loop0	1.1.1.1/32	Switch D	Loop0	4.4.4.4/32
	Vlan-int10	10.1.1.1/24		Vlan-int10	30.1.1.2/24
	Vlan-int20	20.1.1.1/24	Vlan-int20	40.1.1.1/24	
	Vlan-int30	30.1.1.1/24	Switch E	Loop0	5.5.5.5/32
Vlan-int40	100.1.1.1/24	Vlan-int10		100.1.1.2/24	
Switch B	Loop0	2.2.2.2/32	Vlan-int20	200.1.1.2/24	
	Vlan-int10	10.1.1.2/24	Vlan-int30	40.1.1.1.2/24	
Switch C	Vlan-int20	100.1.1.1/24			
	Loop0	3.3.3.3/32			
Switch C	Vlan-int10	20.1.1.2/24			
	Vlan-int20	200.1.1.1/24			

3. 配置步骤

- (1) 配置各接口的IP地址，按照 图 1-18 配置各接口的IP地址和掩码，包括各Loopback接口，具体配置过程略。
- (2) 配置 IS-IS 协议发布接口所在网段的路由，包括 Loopback 接口，并配置 IS-IS TE，具体配置过程略。
- (3) 配置 LSR ID，开启 MPLS、MPLS TE 和 RSVP-TE 能力，具体配置过程略。

(4) 使用 RSVP-TE 配置 MPLS TE 隧道 Tunnel1、Tunnel2、Tunnel3，路径分别为 A->B->E、A->C->E、A->D->E，具体配置过程略。

(5) 配置 QoS 策略

定义类。

```
[SwitchA] system-view
[SwitchA] traffic classifier class
[SwitchA-classifier-class] if-match any
[SwitchA-classifier-class] quit
```

定义流行为。

```
[SwitchA] traffic behavior behave
[SwitchA-behavior-behave] remark service-class 3
[SwitchA-behavior-behave] quit
```

定义策略。

```
[SwitchA] qos policy policy
[SwitchA-qospolicy-policy] classifier class behavior behave
[SwitchA-qospolicy-policy] quit
```

应用策略。

```
[SwitchA] interface vlan-interface 40
[SwitchA-Vlan-interface40] qos apply policy policy inbound
[SwitchA-Vlan-interface40] quit
```

(6) 配置隧道转发类

配置 Tunnel2 的隧道转发类值为 3。

```
[SwitchA] interface tunnel 2 mode mpls-te
[SwitchA-Tunnel2] mpls te service-class 3
[SwitchA-Tunnel2] quit
```

配置 Tunnel3 的隧道转发类值为 6。

```
[SwitchA] interface tunnel 3 mode mpls-te
[SwitchA-Tunnel3] mpls te service-class 6
[SwitchA-Tunnel3] quit
```

4. 验证配置

配置完成后，在 Switch A 上执行 **display interface tunnel** 命令，可以看到 Tunnel1 未配置隧道转发类（显示为“-”）、Tunnel2 和 Tunnel3 的隧道转发类分别为 3 和 6。

```
[SwitchA] display mpls te tunnel-interface Tunnel 1
Tunnel Name           : Tunnel 1
Tunnel State          : Up (Main CRLSP up)
Tunnel Attributes    :
  LSP ID               : 17419           Tunnel ID           : 1
  Admin State         : Normal
  Ingress LSR ID      : 10.1.1.1       Egress LSR ID      : 40.1.1.1
  Signaling           : RSVP-TE       Static CRLSP Name  : -
  Resv Style          : -
  Tunnel mode         : -
  Reverse-LSP name    : -
  Reverse-LSP LSR ID : -             Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type          : -             Tunnel Bandwidth   : -
```

```

Reserved Bandwidth : -
Setup Priority      : 0                Holding Priority      : 0
Affinity Attr/Mask : -/-
Explicit Path      : -
Backup Explicit Path : -
Metric Type        : TE
Record Route       : -                Record Label          : -
FRR Flag           : -                Bandwidth Protection  : -
Backup Bandwidth Flag: -            Backup Bandwidth Type: -
Backup Bandwidth   : -
Bypass Tunnel      : -                Auto Created          : -
Route Pinning      : -
Retry Limit        : 3                Retry Interval        : 2 sec
Reoptimization     : -                Reoptimization Freq  : -
Backup Type        : -                Backup LSP ID         : -
Auto Bandwidth     : -                Auto Bandwidth Freq  : -
Min Bandwidth      : -                Max Bandwidth         : -
Collected Bandwidth : -            Service-Class         : -

```

Tunnel1 未配置隧道转发类，所以 Service-Class 没有显示值。进一步查看 Tunnel2 和 Tunnel3 的隧道转发类。

```

[SwitchA] display mpls te tunnel-interface Tunnel 2
Tunnel Name          : Tunnel 2
Tunnel State         : Up (Main CRLSP up)
Tunnel Attributes    :
  LSP ID              : 17418          Tunnel ID              : 2
  Admin State         : Normal
  Ingress LSR ID     : 10.1.1.1      Egress LSR ID         : 40.1.1.1
  Signaling           : RSVP-TE      Static CRLSP Name     : -
  Resv Style          : -
  Tunnel mode         : -
  Reverse-LSP name    : -
  Reverse-LSP LSR ID : -                Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type          : -                Tunnel Bandwidth      : -
  Reserved Bandwidth : -
  Setup Priority      : 0                Holding Priority      : 0
  Affinity Attr/Mask : -/-
  Explicit Path      : -
  Backup Explicit Path : -
  Metric Type        : TE
  Record Route       : -                Record Label          : -
  FRR Flag           : -                Bandwidth Protection  : -
  Backup Bandwidth Flag: -            Backup Bandwidth Type: -
  Backup Bandwidth   : -
  Bypass Tunnel      : -                Auto Created          : -
  Route Pinning      : -
  Retry Limit        : 3                Retry Interval        : 2 sec
  Reoptimization     : -                Reoptimization Freq  : -
  Backup Type        : -                Backup LSP ID         : -

```

```

Auto Bandwidth      : -                Auto Bandwidth Freq : -
Min Bandwidth       : -                Max Bandwidth       : -
Collected Bandwidth : -                Service-Class       : 3

[SwitchA]display mpls te tunnel-interface Tunnel 3
Tunnel Name          : Tunnel 3
Tunnel State         : Up (Main CRLSP up)
Tunnel Attributes    :
  LSP ID              : 17418            Tunnel ID            : 3
  Admin State         : Normal
  Ingress LSR ID     : 10.1.1.1        Egress LSR ID       : 40.1.1.1
  Signaling           : RSVP-TE        Static CRLSP Name   : -
  Resv Style          : -
  Tunnel mode         : -
  Reverse-LSP name    : -
  Reverse-LSP LSR ID : -                Reverse-LSP Tunnel ID: -
  Class Type          : -                Tunnel Bandwidth    : -
  Reserved Bandwidth : -
  Setup Priority      : 0                Holding Priority     : 0
  Affinity Attr/Mask : -/-
  Explicit Path       : -
  Backup Explicit Path : -
  Metric Type         : TE
  Record Route        : -                Record Label        : -
  FRR Flag            : -                Bandwidth Protection : -
  Backup Bandwidth Flag : -            Backup Bandwidth Type: -
  Backup Bandwidth    : -
  Bypass Tunnel       : -                Auto Created        : -
  Route Pinning       : -
  Retry Limit         : 3                Retry Interval       : 2 sec
  Reoptimization      : -            Reoptimization Freq : -
  Backup Type         : -                Backup LSP ID       : -
  Auto Bandwidth      : -                Auto Bandwidth Freq : -
  Min Bandwidth       : -                Max Bandwidth       : -
  Collected Bandwidth : -                Service-Class       : 6

```

可以看到 Tunnel2 和 Tunnel3 都配置上了隧道转发类。从接口 Vlan-interface40 进入的流量隧道转发类为 3，转发的时候都会从 Tunnel2 进行转发。

1.23 MPLS TE常见故障处理

1.23.1 不能产生TE LSA

1. 故障现象

配置 OSPF TE，无法产生描述 MPLS TE 信息的 TE LSA。

2. 故障分析

至少有一个 OSPF 邻居达到 FULL 状态时，才可能产生 TE LSA。

3. 处理过程

- 执行 **display current-configuration** 命令，检查是否在相关接口上配置了 MPLS TE；
- 执行 **debugging ospf mpls-te** 命令打开 OSPF TE 的调试开关，检查 OSPF 是否收到建立 TE LINK 的消息；
- 执行 **display ospf peer** 命令，检查 OSPF 邻居是否正常建立。