

## 第 18 章 多区域 OSPF

在一个大型 OSPF 网络中，SPF 算法的反复计算，庞大的路由表和拓扑表的维护以及 LSA 的泛洪等都会占用路由器的资源，因而会降低路由器的运行效率。OSPF 协议可以利用区域的概念来减小这些不利的影响。因为在一个区域内的路由器将不需要了解它们所在区域外的拓扑细节。OSPF 多区域的拓扑结构有如下的优势：

1. 降低 SPF 计算频率
2. 减小路由表
3. 降低了通告 LSA 的开销
4. 将不稳定限制在特定的区域

### 18.1 多区域 OSPF 概述

#### 18.1.1 OSPF 路由器类型

当一个 AS 划分成几个 OSPF 区域时，根据一个路由器在相应的区域之内的作用，可以将 OSPF 路由器作如下分类，如图 18-1 所示。

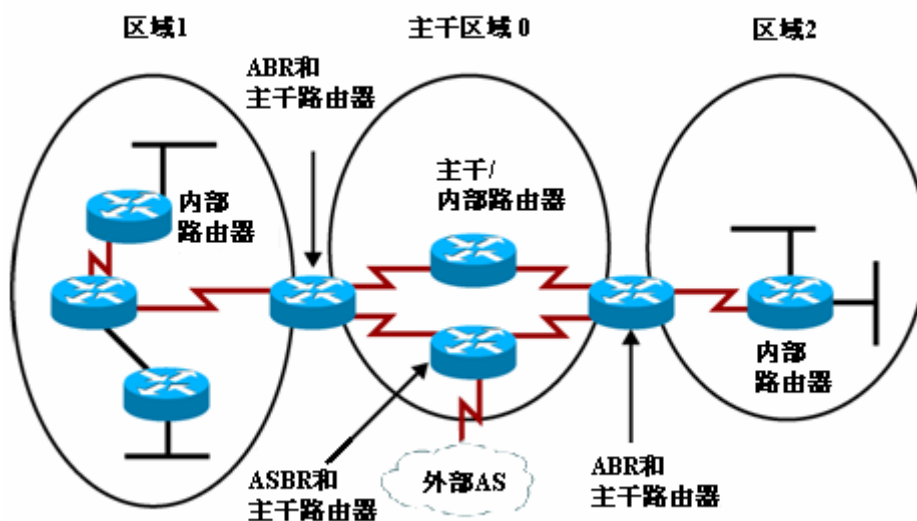


图 18-1 OSPF 路由器类型

1. 内部路由器：OSPF 路由器上所有直连的链路都处于同一个区域；
2. 主干路由器：具有连接区域 0 接口的路由器；
3. 区域边界路由器 (ABR)：路由器与多个区域相连；
4. 自治系统边界路由器 (ASBR)：与 AS 外部的路由器相连并互相交换路由信息；

#### 18.1.2 LSA 类型

一台路由器中所有有效的 LSA 通告都被存放在它的链路状态数据库中，正确的 LSA 通告可以描述一个 OSPF 区域的网络拓扑结构。常见的 LSA 有 6 类，相应的描述如表 18-1 所示。

表 18-1 LSA 类型及相应的描述

类型代码	名称及路由代码	描述
1	路由器 LSA (0)	所有的 OSPF 路由器都会产生这种数据包, 用于描述路由器上连接到某一个区域的链路或是某一接口的状态信息。该 LSA 只会在某一个特定的区域内扩散, 而不会扩散至其它的区域。
2	网络 LSA (0)	由 DR 产生, 只会在包含 DR 所处的广播网络的区域中扩散, 不会扩散至其它的 OSPF 区域。
3	网络汇总 LSA (0 IA)	由 ABR 产生, 描述 ABR 和某个本地区域的內部路由器之间的链路信息。这些条目通过主干区域被扩散到其它的 ABR。
4	ASBR 汇总 LSA (0 IA)	由 ABR 产生, 描述到 ASBR 的可达性, 由主干区域发送到其它 ABR。
5	外部 LSA (0 E1 或 E2)	由 ASBR 产生, 含有关于自治系统外的链路信息。
7	NSSA 外部 LSA (0 N1 或 N2)	由 ASBR 产生的关于 NSSA 的信息, 可以在 NSSA 区域内扩散, ABR 可以将类型 7 的 LSA 转换为类型 5 的 LSA。

### 18.1.3 区域类型

一个区域所设置的特性控制着它所能接收到的链路状态信息的类型。区分不同 OSPF 区域类型的关键在于它们对外部路由的处理方式。OSPF 区域类型如下:

1. 标准区域: 可以接收链路更新信息和路由汇总;
2. 主干区域: 连接各个区域的中心实体, 所有其它的区域都要连接到这个区域上交换路由信息;
3. 末节区域 (Stub Area): 不接受外部自治系统的路由信息;
4. 完全末节区域 (Totally Stubby Area): 它不接受外部自治系统的路由以及自治系统内其它区域的路由汇总, 完全末节区域是 Cisco 专有的特性;
5. 次末节区域 (Not-So-Stubby Area, NSSA): 允许接收以 7 类 LSA 发送的外部路由信息, 并且 ABR 要负责把类型 7 的 LSA 转换成类型 5 的 LSA。

## 18.2 实验 1: 多区域 OSPF 基本配置

### 1. 实验目的

通过本实验可以掌握:

- (1) 在路由器上启动 OSPF 路由进程
- (2) 启用参与路由协议的接口, 并且通告网络及所在的区域
- (3) LSA 的类型和特征
- (4) 不同路由器类型的功能
- (5) OSPF 拓扑结构数据库的特征和含义
- (6) E1 路由和 E2 路由的区别
- (7) 查看和调试 OSPF 路由协议相关信息

### 2. 实验拓扑

本实验的拓扑结构如图 18-2 所示。

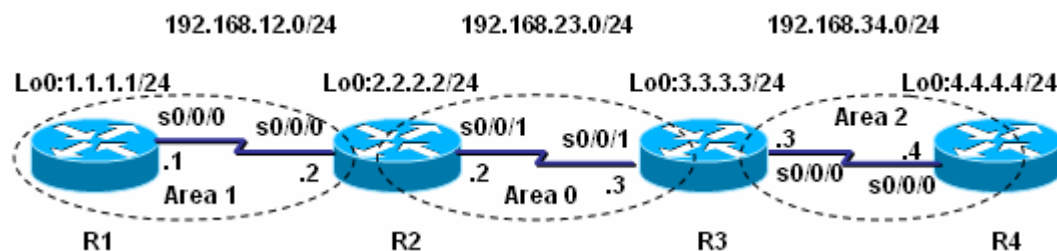


图 18-2 多区域 OSPF 基本配置

配置时采用环回接口尽量靠近区域 0 的原则。路由器 R4 的环回接口不在 OSPF 进程中通告，通过重分布的方法进入 OSPF 网络。

### 3. 实验步骤

(1) 步骤 1: 配置路由器 R1

```
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#router-id 1.1.1.1
R1(config-router)#network 1.1.1.0 255.255.255.0 area 1
R1(config-router)#network 192.168.12.0 255.255.255.0 area 1
```

(2) 步骤 2: 配置路由器 R2

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#router-id 2.2.2.2
R2(config-router)#network 192.168.12.0 255.255.255.0 area 1
R2(config-router)#network 192.168.23.0 255.255.255.0 area 0
R2(config-router)#network 2.2.2.0 255.255.255.0 area 0
```

(3) 步骤 3: 配置路由器 R3

```
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#router-id 3.3.3.3
R3(config-router)#network 192.168.23.0 255.255.255.0 area 0
R3(config-router)#network 192.168.34.0 255.255.255.0 area 2
R3(config-router)#network 3.3.3.0 255.255.255.0 area 0
```

(4) 步骤 4: 配置路由器 R4

```
R4(config)#router ospf 1
R4(config-router)#router-id 4.4.4.4
R4(config-router)#network 192.168.34.0 0.0.0.255 area 2
R4(config-router)#redistribute connected subnets
//将直连路由重分布到 OSPF 网络，重分布的内容在后面的章节详细介绍
```

### 4. 实验调试

(1) show ip route

```
R2#show ip route ospf

1.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
0       1.1.1.0 [110/65] via 192.168.12.1, 00:04:36, Serial0/0/0
3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
0       3.3.3.0 [110/65] via 192.168.23.3, 00:02:46, Serial0/0/1
4.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
0 E2    4.4.4.0 [110/20] via 192.168.23.3, 00:02:22, Serial0/0/1
```

```
0 IA 192.168.34.0/24 [110/128] via 192.168.23.3, 00:02:46, Serial0/0/1
```

以上输出表明路由器 R2 的路由表中既有区域内的路由“1.1.1.0”和“3.3.3.0”，又有区域间的路由“192.168.34.0”，还有外部区域的路由“4.4.4.0”。这就是为什么在 R4 上要用重分布，就是为了构造自治系统外的路由。

### 【技术要点】

OSPF 的外部路由分为：类型 1（在路由表中用代码“E1”表示）和类型 2（在路由表中用代码“E2”表示）。它们计算外部路由度量值的方式不同：

- ① 类型 1（E1）：外部路径成本+数据包在 OSPF 网络所经过各链路成本；
- ② 类型 2（E2）：外部路径成本，即 ASBR 上的缺省设置。

在重分布的时候可以通过“metric-type”参数设置是类型 1 或 2，也可以通过“metric”参数设置外部路径成本，默认为 20。下面的是一个具体的实例：

```
R4(config-router)#redistribute connected subnets metric 50 metric-type 1
```

则在 R2 上关于“4.4.4.0”路由条目的信息如下：

```
0 E1 4.4.4.0 [110/178] via 192.168.23.3, 00:01:27, Serial0/0/1
```

### (2) show ip ospf database

```
R1#show ip ospf database
```

OSPF Router with ID (1.1.1.1) (Process ID 1)

Router Link States (Area 1) //区域 1 类型 1 的 LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
1.1.1.1	1.1.1.1	595	0x80000007	0x00A0ED	3
2.2.2.2	2.2.2.2	459	0x80000004	0x002E71	2

Summary Net Link States (Area 1) //区域 1 类型 3 的 LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
2.2.2.0	2.2.2.2	459	0x80000002	0x000D20
3.3.3.0	2.2.2.2	459	0x80000002	0x006B7E
192.168.23.0	2.2.2.2	459	0x80000002	0x001E55
192.168.34.0	2.2.2.2	459	0x80000002	0x002701

Summary ASB Link States (Area 1) //区域 1 类型 4 的 LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
4.4.4.4	2.2.2.2	459	0x80000002	0x008919

Type-5 AS External Link States//类型 5 的 LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Tag
4.4.4.0	4.4.4.4	349	0x80000003	0x008460	0

R2#show ip ospf database

OSPF Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Router Link States (Area 0)//区域0 类型1 的LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
2.2.2.2	2.2.2.2	1712	0x80000004	0x006208	3
3.3.3.3	3.3.3.3	1677	0x80000004	0x00F56C	3

Summary Net Link States (Area 0) //区域0 类型3 的LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
1.1.1.0	2.2.2.2	1785	0x80000001	0x00B53B
192.168.12.0	2.2.2.2	1785	0x80000001	0x0099E5
192.168.34.0	3.3.3.3	1673	0x80000001	0x0088DC

Summary ASB Link States (Area 0) //区域0 类型4 的LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
4.4.4.4	3.3.3.3	1652	0x80000001	0x00EAF4

Router Link States (Area 1) //区域1 类型1 的LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
1.1.1.1	1.1.1.1	1794	0x80000006	0x00A2EC	3
2.2.2.2	2.2.2.2	1786	0x80000003	0x003070	2

Summary Net Link States (Area 1) //区域1 类型3 的LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
2.2.2.0	2.2.2.2	1782	0x80000001	0x000F1F
3.3.3.0	2.2.2.2	1698	0x80000001	0x006D7D
192.168.23.0	2.2.2.2	1738	0x80000001	0x002054
192.168.34.0	2.2.2.2	1672	0x80000001	0x0029FF

Summary ASB Link States (Area 1) //区域1 类型4 的LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
4.4.4.4	2.2.2.2	1653	0x80000001	0x008B18

Type-5 AS External Link States// 类型5 的LSA

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Tag
---------	------------	-----	------	----------	-----

4.4.4.0            4.4.4.4            203            0x80000002 0x00865F 0

以上输出结果包含了区域 1 的 LSA 类型 1、LSA 类型 3、LSA 类型 4、LSA 类型 5 的链路状态信息, 以及区域 0 的 LSA 类型 1, LSA 类型 3, LSA 类型 4 的链路状态信息。同时看到路由器 R1 和 R2 的区域 1 的链路状态数据库完全相同。

#### 【技术要点】

- ① 相同区域内的路由器具有相同的链路状态数据库, 只是在虚链路的时候略有不同;
- ② 命令 “**show ip ospf database**” 所显示的内容并不是数据库中存储的关于每条 LSA 的全部信息, 而仅仅是 LSA 的头部信息。要看 LSA 的全部信息, 该命令后面还有跟详细的参数, 如 “**show ip ospf database router**”, 结果显示如下:

R1#show ip ospf database router

OSPF Router with ID (1.1.1.1) (Process ID 1)

Router Link States (Area 1)

LS age: 1355

Options: (No TOS-capability, DC)

LS Type: Router Links

Link State ID: 1.1.1.1

Advertising Router: 1.1.1.1

LS Seq Number: 80000008

Checksum: 0x9EEE

Length: 60

Number of Links: 3

Link connected to: a Stub Network

(Link ID) Network/subnet number: 1.1.1.0

(Link Data) Network Mask: 255.255.255.0

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 1

Link connected to: another Router (point-to-point)

(Link ID) Neighboring Router ID: 2.2.2.2

(Link Data) Router Interface address: 192.168.12.1

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 64

Link connected to: a Stub Network

(Link ID) Network/subnet number: 192.168.12.0

(Link Data) Network Mask: 255.255.255.0

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metrics: 64

Routing Bit Set on this LSA  
LS age: 1267  
Options: (No TOS-capability, DC)  
LS Type: Router Links  
Link State ID: 2.2.2.2  
Advertising Router: 2.2.2.2  
LS Seq Number: 80000005  
Checksum: 0x2C72  
Length: 48  
Area Border Router  
Number of Links: 2

Link connected to: another Router (point-to-point)  
(Link ID) Neighboring Router ID: 1.1.1.1  
(Link Data) Router Interface address: 192.168.12.2  
Number of TOS metrics: 0  
TOS 0 Metrics: 64

Link connected to: a Stub Network  
(Link ID) Network/subnet number: 192.168.12.0  
(Link Data) Network Mask: 255.255.255.0  
Number of TOS metrics: 0  
TOS 0 Metrics: 64

以上输出是路由器 R1 在区域 1 的 LSA 类型 1 的全部信息。

### (3) **show ip ospf**

**R4#show ip ospf 1**

Routing Process "ospf 1" with ID 4.4.4.4  
Supports only single TOS(TOS0) routes  
Supports opaque LSA  
Supports Link-local Signaling (LLS)  
**It is an autonomous system boundary router**  
Redistributing External Routes from,  
.....

以上信息表明路由器 R4 是一台 ASBR。

## 18.3 多区域 OSPF 高级配置

### 18.3.1 实验 2：OSPF 手工汇总

#### 1. 实验目的

通过本实验可以掌握：

- (1) 路由汇总的目的
- (2) 区域间路由汇总
- (3) 外部自治系统路由汇总

#### 2. 实验拓扑

本实验的拓扑结构如图 18-3 所示。

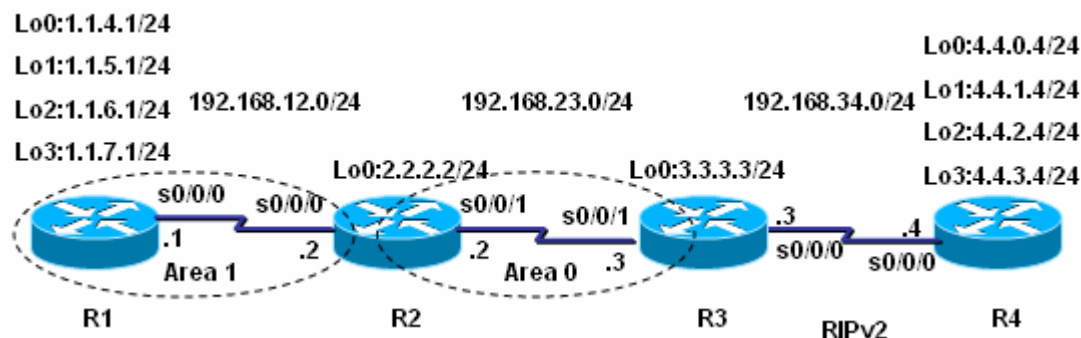


图 18-3 OSPF 手工汇总

路由器 R1、R2 和 R3 之间运行 OSPF, 路由器 R3 和 R4 之间运行 RIPv2, 路由器 R1 上的四个环回接口是为在路由器 R2 上做区域间路由汇总准备的, 路由器 R4 上的四个环回接口是为在路由器 R3 上做外部路由汇总准备的。由于路由器 R3 是边界路由器, 所以要完成双向重分布。

### 3. 实验步骤

(1) 步骤 1: 配置路由器 R1

```
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#router-id 1.1.1.1
R1(config-router)#network 1.1.4.0 255.255.252.0 area 1
R1(config-router)#network 192.168.12.0 255.255.255.0 area 1
```

(2) 步骤 2: 配置路由器 R2

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#router-id 2.2.2.2
R2(config-router)#network 192.168.12.0 255.255.255.0 area 1
R2(config-router)#network 192.168.23.0 255.255.255.0 area 0
R2(config-router)#network 2.2.2.0 255.255.255.0 area 0
R2(config-router)#area 1 range 1.1.4.0 255.255.252.0 //配置区域间路由汇总
```

(3) 步骤 3: 配置路由器 R3

```
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#router-id 3.3.3.3
R3(config-router)#network 3.3.3.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#summary-address 4.4.0.0 255.255.252.0
//配置外部自治系统路由汇总
R3(config-router)#redistribute rip subnets //将 RIP 路由重分布到 OSPF 中
R3(config)#router rip
R3(config-router)#version 2
R3(config-router)#no auto-summary
R3(config-router)#network 192.168.34.0
R3(config-router)#redistribute ospf 1 metric 2 //将 OSPF 路由重分布到 RIP 中
```

(4) 步骤 4: 配置路由器 R4

```
R4(config)#router rip
```



```
R4(config-router)#version 2
R4(config-router)#no auto-summary
R4(config-router)#network 4.0.0.0
R4(config-router)#network 192.168.34.0
```

#### 【技术要点】

- (1) 区域间路由汇总必须在 ABR 上完成;
- (2) 外部路由汇总必须在 ASBR 上完成。

## 4. 实验调试

- (1) 在 R2 上查看路由表，显示如下：

```
R2#show ip route ospf
```

```
1.0.0.0/8 is variably subnetted, 5 subnets, 3 masks
0       1.1.5.1/32 [110/65] via 192.168.12.1, 00:17:16, Serial0/0/0
0       1.1.4.0/24 [110/65] via 192.168.12.1, 00:17:16, Serial0/0/0
0       1.1.4.0/22 is a summary, 00:17:16, Null0
0       1.1.7.1/32 [110/65] via 192.168.12.1, 00:17:16, Serial0/0/0
0       1.1.6.1/32 [110/65] via 192.168.12.1, 00:17:16, Serial0/0/0

3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
0       3.3.3.0 [110/65] via 192.168.23.3, 00:12:14, Serial0/0/1
4.0.0.0/22 is subnetted, 1 subnets
0 E2    4.4.0.0 [110/20] via 192.168.23.3, 00:11:09, Serial0/0/1
0 E2    192.168.34.0/24 [110/20] via 192.168.23.3, 00:12:15, Serial0/0/1
```

以上输出表明 R2 对 R1 的四条环回接口的路由汇总后，会产生一条指向 Null0 的路由；同时收到经路由器 R3 汇总的路由，因为是重分布进来的外部路由，所以路由代码为“O E2”。

- (2) 在 R3 上查看路由表，显示如下：

```
R3#show ip route ospf
```

```
0 IA 192.168.12.0/24 [110/128] via 192.168.23.2, 00:23:20, Serial0/0/1
1.0.0.0/22 is subnetted, 1 subnets
0 IA    1.1.4.0 [110/129] via 192.168.23.2, 00:23:20, Serial0/0/1
2.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
0       2.2.2.0 [110/65] via 192.168.23.2, 00:23:20, Serial0/0/1
4.0.0.0/8 is variably subnetted, 5 subnets, 2 masks
0       4.4.0.0/22 is a summary, 00:20:29, Null0
```

以上输出表明 R3 对四条环回接口的 RIP 路由汇总后，会产生一条指向 Null0 的路由；同时收到经路由器 R2 汇总的路由，由于是区域间路由汇总，所以路由代码为“O IA”。

## 18.3.2 实验 3：OSPF 末节区域和完全末节区域

### 1. 实验目的

通过本实验可以掌握：

- (1) 末节区域的条件

- (2) 末节区域的特征
- (3) 完全末节区域的特征
- (4) 末节区域的配置
- (5) 完全末节区域的配置

## 2. 实验拓扑

本实验的拓扑结构如图 18-4 所示。

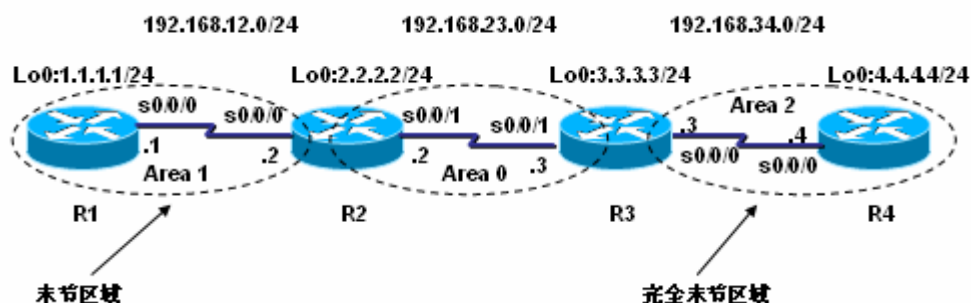


图 18-4 OSPF 末节区域配置

本实验在路由器 R2 上将环回接口 0 以重分布的方式注入 OSPF 区域，用来构造 5 类的 LSA。把区域 1 配置成末节区域，将区域 2 配置成完全末节区域。

## 3. 实验步骤

- (1) 步骤 1：配置路由器 R1

```
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#router-id 1.1.1.1
R1(config-router)#network 1.1.1.0 255.255.255.0 area 1
R1(config-router)#network 192.168.12.0 255.255.255.0 area 1
R1(config-router)#area 1 stub // 把区域 1 配置成末节区域
```

- (2) 步骤 2：配置路由器 R2

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#router-id 2.2.2.2
R2(config-router)#network 192.168.12.0 255.255.255.0 area 1
R2(config-router)#network 192.168.23.0 255.255.255.0 area 0
R2(config-router)#redistribute connected subnets //将直连重分布进 OSPF 区域
R2(config-router)#area 1 stub
```

- (3) 步骤 3：配置路由器 R3

```
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#router-id 3.3.3.3
R3(config-router)#network 3.3.3.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#network 192.168.34.0 0.0.0.255 area 2
R3(config-router)#area 2 stub no-summary// 把区域 2 配置成完全末节区域
```

### 【技术要点】

“no-summary”阻止区域间的路由进入末节区域，所以叫完全末节区域。只需在 ABR 上启用本参数即可。

(4) 步骤 4: 配置路由器 R4

```
R4(config)#router ospf 1
R4(config-router)#router-id 4.4.4.4
R4(config-router)#network 4.4.4.0 0.0.0.255 area 2
R4(config-router)#network 192.168.34.0 0.0.0.255 area 2
R4(config-router)#area 2 stub
```

### 【技术要点】

末节和完全末节区域需要满足如下的条件:

- (1) 区域只有一个出口;
- (2) 区域不需要作为虚链路的过渡区;
- (3) 区域内没有 ASBR;
- (4) 区域不是主干区域。

## 4. 实验调试

(1) 在 R1 上查看路由表, 显示如下:

```
R1#show ip route ospf
```

```
3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
O IA 3.3.3.0 [110/129] via 192.168.12.2, 00:12:29, Serial0/0/0
4.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA 4.4.4.4 [110/193] via 192.168.12.2, 00:12:29, Serial0/0/0
O IA 192.168.23.0/24 [110/128] via 192.168.12.2, 00:12:29, Serial0/0/0
O IA 192.168.34.0/24 [110/192] via 192.168.12.2, 00:12:29, Serial0/0/0
O*IA 0.0.0.0/0 [110/65] via 192.168.12.2, 00:12:29, Serial0/0/0
```

以上的输出表明 R2 重分布进来的环回接口的路由并没有在 R1 的路由表中出现, 说明末节区域不接收类型 5 的 LSA, 也就是外部路由; 同时末节区域 1 的 ABR R2 自动向该区域内传播 0.0.0.0/0 的默认路由; 末节区域可以接收区域间路由。

(2) 在 R4 上查看路由表, 显示如下:

```
R4#show ip route
```

```
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
        D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
        N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
        E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
        i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
        * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
        P - periodic downloaded static route
```

```
Gateway of last resort is 192.168.34.3 to network 0.0.0.0
```

```
4.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C      4.4.4.0 is directly connected, Loopback0
C      192.168.34.0/24 is directly connected, Serial0/0/0
```

0\*IA 0.0.0.0/0 [110/65] via 192.168.34.3, 00:24:26, Serial0/0/0

以上输出表明在完全末节区域 2 中, R4 的路由表中除了直连和区域内路由, 全部被默认路由代替, 证明完全末节区域不接收外部路由和区域间路由, 只有区域内的路由和一条由 ABR 向该区域注入的默认路由。

### 18.3.3 实验 4: OSPF NSSA 区域

#### 1. 实验目的

通过本实验可以掌握:

- (1) NSSA 的特征
- (2) NSSA 的配置
- (3) NSSA 产生默认路由的方法

#### 2. 实验拓扑

本实验的拓扑结构如图 18-5 所示。

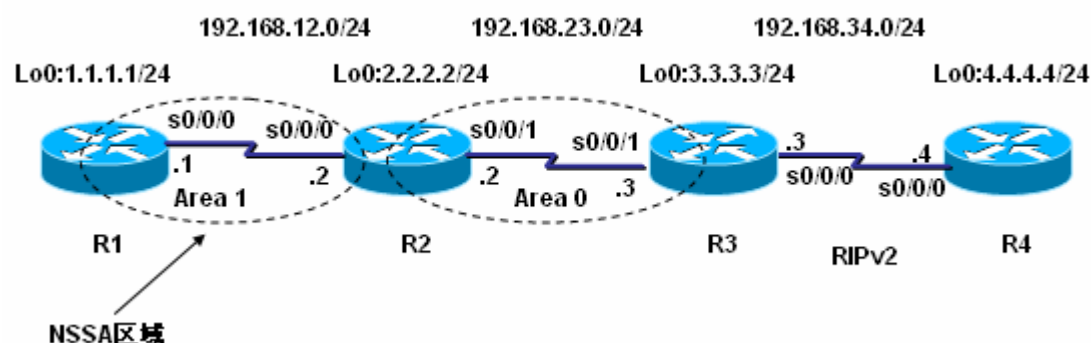


图 18-5 OSPF NSSA 区域配置

本实验在路由器 R1 上将环回接口 0 以重分布的方式注入 OSPF 区域, 用来验证 5 类的 LSA 在 NSSA 区域的传递方式。

#### 3. 实验步骤

- (1) 步骤 1: 配置路由器 R1

```
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#router-id 1.1.1.1
R1(config-router)#network 192.168.12.0 255.255.255.0 area 1
R1(config-router)#redistribute connected subnets
R1(config-router)#area 1 nssa //将区域 1 配置成 NSSA
```

- (2) 步骤 2: 配置路由器 R2

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#router-id 2.2.2.2
R2(config-router)#network 192.168.12.0 255.255.255.0 area 1
R2(config-router)#network 192.168.23.0 255.255.255.0 area 0
R2(config-router)#network 2.2.2.0 255.255.255.0 area 0
R2(config-router)#area 1 nssa
```

- (3) 步骤 3: 配置路由器 R3

```
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#router-id 3.3.3.3
R3(config-router)#network 3.3.3.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 0
```

```
R3(config-router)#redistribute rip subnets //将 RIP 路由重分布到 OSPF 区域
R3(config)#router rip
R3(config-router)#version 2
R3(config-router)#no auto-summary
R3(config-router)#network 192.168.34.0
R3(config-router)#redistribute ospf 1 metric 2
```

(4) 步骤 4: 配置路由器 R4

```
R4(config)#router rip
R4(config-router)#version 2
R4(config-router)#no auto-summary
R4(config-router)#network 4.0.0.0
R4(config-router)#network 192.168.34.0
```

#### 4. 实验调试

(1) 在 R1 上查看路由表，显示如下：

```
R1#show ip route ospf
```

```
2.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
O IA 2.2.2.0 [110/65] via 192.168.12.2, 00:06:11, Serial0/0/0
3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
O IA 3.3.3.0 [110/129] via 192.168.12.2, 00:06:11, Serial0/0/0
O IA 192.168.23.0/24 [110/128] via 192.168.12.2, 00:06:11, Serial0/0/0
```

以上的输出表明区域间的路由是可以进入到 NSSA 区域的；但是在 R1 的路由表中并没有出现在 R3 上把 RIP 重分布进来的路由，因此说明 LSA 类型为 5 的外部路由不能在 NSSA 区域中传播，ABR 也没有能力把类型 5 的 LSA 转成类型 7 的 LSA。

#### 【技术要点】

如果不想在 NSSA 区域中出现区域间的路由，则在 ABR 的路由器上配置 NSSA 区域时加上“no-summary”参数即可。这时 ABR 也会自动向 NSSA 区域注入一条“O IA”的默认路由，配置如下：

```
R2(config-router)#area 1 nssa no-summary
```

R1 的路由表如下：

```
R1#show ip route
```

```
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
P - periodic downloaded static route
```

```
Gateway of last resort is 192.168.12.2 to network 0.0.0.0
```

```
C 192.168.12.0/24 is directly connected, Serial0/0/0
1.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
```

```
C      1.1.1.0 is directly connected, Loopback0
```

```
0*IA 0.0.0.0/0 [110/65] via 192.168.12.2, 00:00:32, Serial0/0/0
```

本实验中，如果在路由器 R2 配置 NSSA 时没有加 “no-summary” 参数，那么对路由器 R1 来讲，RIP 部分的路由是不可达的，为了解决此问题，我们在路由器 R2 上配置 NSSA 区域时加上 “default-information-originate” 参数即可，此时 ABR 路由器 R2 会向 NSSA 区域注入一条 “0 N2” 的默认路由，配置如下：

```
R2(config-router)#area 1 nssa default-information-originate
```

```
R1#show ip route
```

```
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
```

```
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
```

```
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
```

```
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
```

```
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
```

```
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
```

```
P - periodic downloaded static route
```

```
Gateway of last resort is 192.168.12.2 to network 0.0.0.0
```

```
2.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
```

```
O IA    2.2.2.0 [110/65] via 192.168.12.2, 00:01:57, Serial0/0/0
```

```
3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
```

```
O IA    3.3.3.0 [110/129] via 192.168.12.2, 00:01:57, Serial0/0/0
```

```
O IA 192.168.23.0/24 [110/128] via 192.168.12.2, 00:01:57, Serial0/0/0
```

```
O*N2 0.0.0.0/0 [110/1] via 192.168.12.2, 00:01:49, Serial0/0/0
```

如果在 R2 配置 NSSA 时 “no-summary” 参数和 “default-information-originate” 参数都加，如下所示：

```
R2(config-router)#area 1 nssa default-information-originate no-summary
```

则 R1 的路由表如下：

```
R1#show ip route
```

```
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
```

```
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
```

```
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
```

```
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
```

```
i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
```

```
* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
```

```
P - periodic downloaded static route
```

```
Gateway of last resort is 192.168.12.2 to network 0.0.0.0
```

```
C      192.168.12.0/24 is directly connected, Serial0/0/0
```

```
1.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
```

```
C      1.1.1.0 is directly connected, Loopback0
```

```
0*IA 0.0.0.0/0 [110/65] via 192.168.12.2, 00:00:20, Serial0/0/0
```

以上输出表明 “O IA” 的路由优于 “O N2” 的路由。

(2) 在 R2 上查看路由表，显示如下：

R2#show ip route ospf

```
1.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
0 N2    1.1.1.0 [110/20] via 192.168.12.1, 00:04:11, Serial0/0/0
3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
0       3.3.3.0 [110/65] via 192.168.23.3, 00:04:11, Serial0/0/1
4.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
0 E2    4.4.4.0 [110/20] via 192.168.23.3, 00:04:11, Serial0/0/1
0 E2 192.168.34.0/24 [110/20] via 192.168.23.3, 00:04:11, Serial0/0/1
```

以上输出表明 NSSA 区域的路由代码为 “0 N2” 或 “0 N1”。

(3) 在 R2 上查看拓扑表，显示如下：

R2#show ip ospf database

OSPF Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

Router Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
2.2.2.2	2.2.2.2	89	0x80000014	0x004810	3
3.3.3.3	3.3.3.3	85	0x8000000C	0x005BFD	3

Summary Net Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.12.0	2.2.2.2	89	0x8000000A	0x0087EE

Router Link States (Area 1)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
1.1.1.1	1.1.1.1	16	0x80000009	0x002D6B	2
2.2.2.2	2.2.2.2	89	0x80000010	0x00C1C9	2

Summary Net Link States (Area 1)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
0.0.0.0	2.2.2.2	419	0x80000001	0x00FC31

Type-7 AS External Link States (Area 1)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Tag
0.0.0.0	2.2.2.2	657	0x80000001	0x00B978	0
1.1.1.0	1.1.1.1	275	0x80000002	0x00E92E	0

## Type-5 AS External Link States

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum Tag
1.1.1.0	2.2.2.2	90	0x80000002	0x0060BD 0
4.4.4.0	3.3.3.3	1863	0x80000001	0x00FC8B 0
192.168.34.0	3.3.3.3	87	0x80000002	0x0062A5 0

从输出结果中表明，路由器 R2 将类型 7 的 LSA 转换成类型 5 的 LSA，并且继续在网上扩散到路由器 R3。

## 18.4 OSPF 虚链路

在实际网络中，可能会存在主干区域不连续或者某一个区域与主干区域物理不相连的情况，在这两种情况下，可以通过虚链路来解决。

### 18.4.1 实验 5：不连续区域 0 的虚链路

#### 1. 实验目的

通过本实验可以掌握：

- (1) 不连续区域 0 虚链路的特征
- (2) 虚链路的配置

#### 2. 实验拓扑

本实验的拓扑结构如图 18-6 所示。

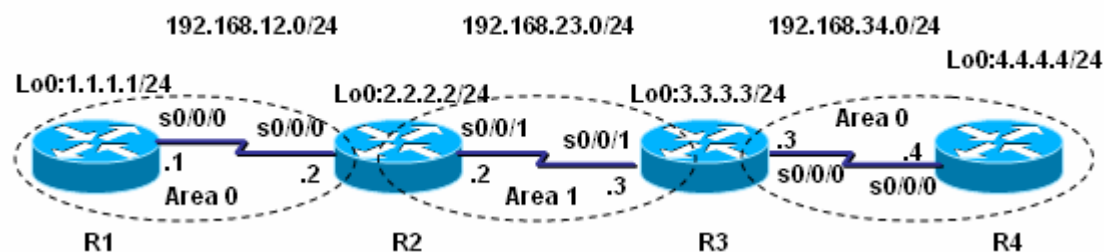


图 18-6 不连续区域 0 虚链路

本实验中区域 1 为转接区域。

#### 3. 实验步骤

- (1) 步骤 1：配置路由器 R1

```
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#router-id 1.1.1.1
R1(config-router)#network 1.1.1.0 0.0.0.255 area 0
R1(config-router)#network 192.168.12.0 0.0.0.255 area 0
```

- (2) 步骤 2：配置路由器 R2

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#router-id 2.2.2.2
R2(config-router)#network 2.2.2.0 0.0.0.255 area 0
```



```
R2(config-router)#network 192.168.12.0 0.0.0.255 area 0
R2(config-router)#network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 1
R2(config-router)#area 1 virtual-link 3.3.3.3 //配置虚链路
```

### 【技术要点】

配置虚链路的时候，“virtual-link”后一定要互指对方的路由器 ID。

(3) 步骤 3: 配置路由器 R3

```
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#router-id 3.3.3.3
R3(config-router)#network 3.3.3.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 1
R3(config-router)#network 192.168.34.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#area 1 virtual-link 2.2.2.2
```

(4) 步骤 4: 配置路由器 R4

```
R4(config)#router ospf 1
R4(config-router)#router-id 4.4.4.4
R4(config-router)#network 4.4.4.0 0.0.0.255 area 0
R4(config-router)#network 192.168.34.0 0.0.0.255 area 0
```

## 4. 实验调试

(1) show ip route

```
R1#show ip route ospf
```

```
2.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
0       2.2.2.0 [110/65] via 192.168.12.2, 00:04:42, Serial0/0/0
3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
0       3.3.3.0 [110/129] via 192.168.12.2, 00:04:42, Serial0/0/0
4.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
0       4.4.4.4 [110/193] via 192.168.12.2, 00:04:42, Serial0/0/0
0 IA 192.168.23.0/24 [110/128] via 192.168.12.2, 00:04:42, Serial0/0/0
0 192.168.34.0/24 [110/192] via 192.168.12.2, 00:04:42, Serial0/0/0
```

从以上输出可以看出通过虚拟链路将两个不连续的区域 0 连接起来。

(2) show ip ospf virtual-links

```
R2#show ip ospf virtual-links
```

```
Virtual Link OSPF_VL0 to router 3.3.3.3 is up
```

```
Run as demand circuit
```

```
DoNotAge LSA allowed.
```

```
Transit area 1, via interface Serial0/0/1, Cost of using 64
```

```
Transmit Delay is 1 sec, State POINT_TO_POINT,
```

```
Timer intervals configured, Hello 10, Dead 40, Wait 40, Retransmit 5
```

```
Hello due in 00:00:03
```

```
Adjacency State FULL (Hello suppressed)
```

```
Index 2/3, retransmission queue length 0, number of retransmission 1
```

```
First 0x0(0)/0x0(0) Next 0x0(0)/0x0(0)
```

Last retransmission scan length is 1, maximum is 1

Last retransmission scan time is 0 msec, maximum is 0 msec

以上输出表明了虚链路的基本信息。

### (3) show ip ospf database

R2#show ip ospf database

OSPF Router with ID (2.2.2.2) (Process ID 1)

#### Router Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
1.1.1.1	1.1.1.1	668	0x80000003	0x00ABE6	3
2.2.2.2	2.2.2.2	537	0x80000007	0x00EEB6	4
3.3.3.3	3.3.3.3	1 (DNA)	0x80000014	0x00C591	4
4.4.4.4	4.4.4.4	6 (DNA)	0x80000003	0x00AB8E	3

#### Summary Net Link States (Area 0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum
192.168.23.0	2.2.2.2	608	0x80000001	0x002054
192.168.34.0	3.3.3.3	16 (DNA)	0x80000001	0x00026E

#### Router Link States (Area 1)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	Checksum	Link count
2.2.2.2	2.2.2.2	562	0x80000002	0x00ED95	2
3.3.3.3	3.3.3.3	553	0x80000003	0x008BF1	2

以上输出表明虚链路的路由被拉进区域 0，并带有“(DNA)”标记，表示不老化。

## 18.4.1 实验 6：远离区域 0 的虚链路

### 1. 实验目的

通过本实验可以掌握：

- (1) 远离区域 0 虚链路的特征
- (2) 虚链路的配置

### 2. 实验拓扑

本实验的拓扑结构如图 18-7 所示。

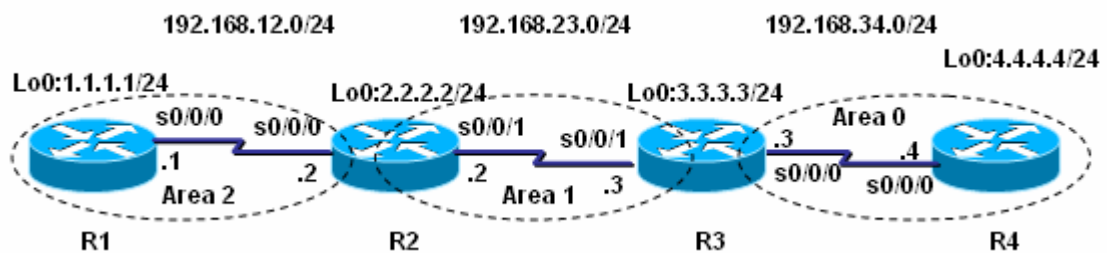


图 18-7 远离区域 0 虚链路

### 3. 实验步骤

(1) 步骤 1: 配置路由器 R1

```
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#router-id 1.1.1.1
R1(config-router)#network 1.1.1.0 0.0.0.255 area 2
R1(config-router)#network 192.168.12.0 0.0.0.255 area 2
```

(2) 步骤 2: 配置路由器 R2

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#router-id 2.2.2.2
R2(config-router)#network 2.2.2.0 0.0.0.255 area 1
R2(config-router)#network 192.168.12.0 0.0.0.255 area 2
R2(config-router)#network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 1
R2(config-router)#area 1 virtual-link 3.3.3.3
```

(3) 步骤 3: 配置路由器 R3

```
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#router-id 3.3.3.3
R3(config-router)#network 3.3.3.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#network 192.168.23.0 0.0.0.255 area 1
R3(config-router)#network 192.168.34.0 0.0.0.255 area 0
R3(config-router)#area 1 virtual-link 2.2.2.2
```

(4) 步骤 4: 配置路由器 R4

```
R4(config)#router ospf 1
R4(config-router)#router-id 4.4.4.4
R4(config-router)#network 4.4.4.0 0.0.0.255 area 0
R4(config-router)#network 192.168.34.0 0.0.0.255 area 0
```

### 4. 实验调试

在路由器 R4 上查看路由表:

```
R4#show ip route
```

Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP

D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area

N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2

E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2

i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area

\* - candidate default, U - per-user static route, o - ODR

P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

```
0 IA 192.168.12.0/24 [110/192] via 192.168.34.3, 00:02:19, Serial0/0/0
```

```
1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
```

```
0 IA 1.1.1.1 [110/193] via 192.168.34.3, 00:02:19, Serial0/0/0
```

```
2.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
```

```
0 IA 2.2.2.2 [110/129] via 192.168.34.3, 00:02:19, Serial0/0/0
```

```

3.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O      3.3.3.3 [110/65] via 192.168.34.3, 00:02:19, Serial0/0/0
4.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C      4.4.4.0 is directly connected, Loopback0
O IA 192.168.23.0/24 [110/128] via 192.168.34.3, 00:02:19, Serial0/0/0
C      192.168.34.0/24 is directly connected, Serial0/0/0

```

从 R4 的路由表的输出,可以看出路由器 R1 能够通过使用转接区域 1 的虚拟链路到达区域 0。

### 【技术要点】

虚链路属于区域 0,所以在进行区域 0 认证的时候,不要忘记虚链路的认证,例如如果区域 0 采用 MD5 认证,则在虚链路上配置如下:

```
R3(config-router)#area 1 virtual-link 2.2.2.2 message-digest-key 1 md5 cisco
```

## 18.5 OSPF 命令汇总

表 18-2 列出了本章涉及到的主要的命令。

表 18-2 本章命令汇总

命令	作用
show ip route	查看路由表
show ip ospf neighbor	查看 OSPF 邻居的基本信息
show ip ospf database	查看 OSPF 拓扑结构数据库
show ip ospf interface	查看 OSPF 路由器接口的信息
show ip ospf	查看 OSPF 进程及其细节
show ip ospf database router	查看类型 1 的 LSA 的全部信息
redistribute	路由协议重分布
area <i>area-id</i> range	区域间路由汇总
summary-address	外部路由汇总
area <i>area-id</i> stub	把某区域配置成末节区域
area <i>area-id</i> stub no-summary	把某区域配置成完全末节区域
area <i>area-id</i> nssa	把某区域配置成 NSSA 区域
area <i>area-id</i> virtual-link	配置虚链路