

高校转型发展系列教材

网络与通信技术 案例分析及应用

崔立民 贾冬梅 周 昕 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

网络与通信技术是高校计算机类、电子信息类、自动化类等专业的教学内容，教学中对实践性要求较高。在完成相关的理论教学后，需要有一套完整的实践教学体系来配合，从而达到理论结合实际、加深理论认知、提高实践技能的学习目的。本书以某高校理工实验楼数据通信系统工程设计项目为背景，选取其中的典型应用场景，设计了网络与通信技术在实践过程中常用到的技术案例，讲解了每个案例所用到的技术原理、配置方法和实现路径。

本书可作为高校相关专业的教材，也可作为网络与数据通信工程应用实践培训的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。举报：010-62782989，beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

网络与通信技术案例分析及应用 / 崔立民，贾冬梅，周昕编著. —北京：清华大学出版社，2020.10

高校转型发展系列教材

ISBN 978-7-302-56359-4

I . ①网… II . ①崔… ②贾… ③周… III . ①计算机网络—高等学校—教材②通信技术—高等学校—教材 IV . ① TP393 ② TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 167469 号

责任编辑：施 猛

封面设计：常雪影

版式设计：方加青

责任校对：马遥遥

责任印制：吴佳雯

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>，<http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：10.25 字 数：243 千字

版 次：2020 年 10 月第 1 版 印 次：2020 年 10 月第 1 次印刷

定 价：49.00 元

产品编号：074717-01

高校转型发展系列教材

编委会

主任委员：李继安 李 峰

副主任委员：王淑梅

委 员：

马德顺 王 焱 王小军 王建明 王海义 孙丽娜
李 娟 李长智 李庆杨 陈兴林 范立南 赵柏东
侯 彤 姜乃力 姜俊和 高小珺 董 海 解 勇

前 言

“网络与通信技术”是通信工程专业、计算机科学与技术专业及相关专业的一门专业课程，该课程以讲解数据通信网络相关技术为主。

本书是辅助“网络与通信技术”课程的实验教程。作者根据多年从事相关课程理论教学和实验教学的经验，以传授知识为基础，以重点培养学生实践能力、解决复杂工程问题能力为目标，结合数据通信网络的课程特点，基于实际案例，对网络与通信技术中经常用到的技术进行了技术分析和案例讲解。

本书所用到的实例，均取自某高校理工实验楼数据通信系统工程设计项目，具有一定的实际应用意义。

本书编写分工：崔立民编写第6章、第8章、第9章、第10章，贾冬梅编写第2章、第3章，周昕编写第1章，任百利编写第4章、第5章，高玉潼编写第7章。全书由崔立民统稿。

在本书的编写过程中，得到了深圳市讯方技术股份有限公司王赫来、周元朋的支持，在此表示衷心感谢。

本书所用到的设备均为华为数据通信相关设备，本书所用到的实例均在华为数据通信虚拟仿真模拟器eNSP上调试通过。书中配置命令部分，行首有提示符的，提示符后为配置命令；行首无提示符的，是设备的信息反馈，书中不再逐一说明。

本书随书资料中包含全部案例的实验项目工程文件，供读者参考。

限于作者水平，书中难免有错漏之处，恳请读者批评指正，反馈邮箱：wkservice@vip.163.com。

作 者
2020年5月

目 录

第 1 章	数据通信技术基础	1
1.1	网络与通信协议体系概述	1
1.1.1	网络与数据通信概念	1
1.1.2	计算机网络体系结构	2
1.1.3	开放系统互连参考模型	3
1.1.4	TCP/IP体系结构	6
1.2	华为VRP概述	9
1.2.1	项目任务	9
1.2.2	项目任务配置	10
1.3	eNSP使用基础	19
1.3.1	项目任务	19
1.3.2	实验任务配置	20
	本章小结	25
第 2 章	虚拟局域网技术	26
2.1	项目任务	26
2.2	VLAN技术基础	27
2.2.1	VLAN关键技术	27
2.2.2	VLAN端口类型	30
2.3	项目实施	31
	本章小结	36
第 3 章	生成树协议	37
3.1	项目任务	37
3.2	生成树协议技术基础	38
3.2.1	生成树协议概述	38

3.2.2	快速生成树协议	40
3.3	项目实施	41
	本章小结	46
第 4 章	链路聚合技术	47
4.1	项目任务	47
4.2	链路聚合技术基础	48
4.3	项目实施	54
	本章小结	59
第 5 章	静态路由技术	60
5.1	项目任务	60
5.2	静态路由技术基础	62
5.3	项目实施	66
	本章小结	71
第 6 章	VLAN间路由技术	72
6.1	项目任务	72
6.2	VLAN间路由技术基础	73
6.2.1	普通VLAN间路由技术基础	73
6.2.2	单臂路由技术基础	75
6.2.3	三层交换技术基础	77
6.3	项目实施	78
6.3.1	普通VLAN间路由	78
6.3.2	单臂路由	82
6.3.3	三层交换	84
	本章小结	86
第 7 章	动态路由技术	87
7.1	项目任务	87
7.2	OSPF路由协议基础	89
7.2.1	OSPF简介	89
7.2.2	OSPF的邻居表、LSDB与路由表	90
7.2.3	OSPF身份	91
7.2.4	OSPF邻居建立	92
7.2.5	路由器ID号	92
7.2.6	OSPF的协议报文	93

7.2.7	OSPF的状态	93
7.2.8	DR和BDR	94
7.3	项目实施	95
7.3.1	配置端口IP地址	95
7.3.2	配置OSPF	97
7.3.3	验证配置OSPF	100
7.3.4	检测连通性	103
7.3.5	查看OSPF邻居状态	105
	本章小结	106
第 8 章	DHCP技术	107
8.1	项目任务	107
8.2	DHCP技术原理	108
8.2.1	认识DHCP业务	108
8.2.2	客户端请求IP地址的工作原理	109
8.2.3	其他DHCP请求的实现	110
8.3	项目实施	111
8.3.1	基于接口地址池的DHCP服务器配置	111
8.3.2	基于全局地址池的DHCP服务器配置	113
	本章小结	117
第 9 章	NAT技术	118
9.1	项目任务	118
9.2	NAT技术原理	119
9.2.1	公网IP地址和私有IP地址	119
9.2.2	NAT的作用	120
9.2.3	NAT的基本原理	121
9.2.4	NAT的类型	123
9.2.5	NAT的简单应用	124
9.3	项目实施	125
9.3.1	静态NAT的配置	125
9.3.2	静态NAPT的配置	128
9.3.3	Easy IP的配置	129
9.3.4	NAT服务器的配置	130
	本章小结	135

第10章	IPv6技术基础	136
10.1	项目任务	136
10.2	IPv6技术原理	138
10.2.1	IPv6的地址	138
10.2.2	IPv6的路由	140
10.2.3	IPv6地址的配置	140
10.3	项目实现	141
10.3.1	配置指定的IPv6地址	141
10.3.2	配置OSPFv3	145
10.3.3	配置DHCPv6	149
	本章小结	151
参考文献		152

第3章

生成树协议

在实际应用中，为了有一定的安全冗余，在交换机之间通常会多接几条冗余链路，但是这样的冗余链路可能会导致交换机数据转发环路。另外，不通知管理员，私接交换机也可能对交换网络产生影响。在交换机上使用生成树协议来对交换机的端口进行管理，将交换机梳理成一个树状网络，是一个很重要的应用手段。本实验项目将以实例的方式向读者介绍生成树协议在交换网络中的应用。

3.1 项目任务

1. 应用场景

某高校实验楼内，有5个实验室需要接入校园网。因为各个实验室所接的终端数量与类型不尽相同，所以为每个实验室都配置了一台接入交换机。这些接入交换机通过楼层的汇聚交换机接入校园网。为了确保各个实验室的网络访问可靠性，这几个实验室采用全交换网络，并使用多条链路冗余。

2. 项目实现目标

多链路冗余可以提高交换网络的可靠性，但随之带来的问题是可能会产生交换环路。本实验的目的，就是通过生成树协议防止交换环路的出现。同时，在出现链路故障时，交换网络可以及时切换到备份链路，从而保证网络通信的正常进行。

3. 实验环境拓扑图

本实验在一个全交换网络中进行，网络拓扑图和各终端IP地址如图3-1所示。

LSW1、LSW2、LSW3、LSW4、LSW5分别是5个实验室的接入交换机，LSW6是楼层的汇聚交换机。为了方便实验，在LSW6上接了一台终端，模拟作为校园网的访问点。拓扑中并未给每个实验室都设置终端，仅在LSW2和LSW5分别接入一台终端，能演示生成树协议工作过程即可。

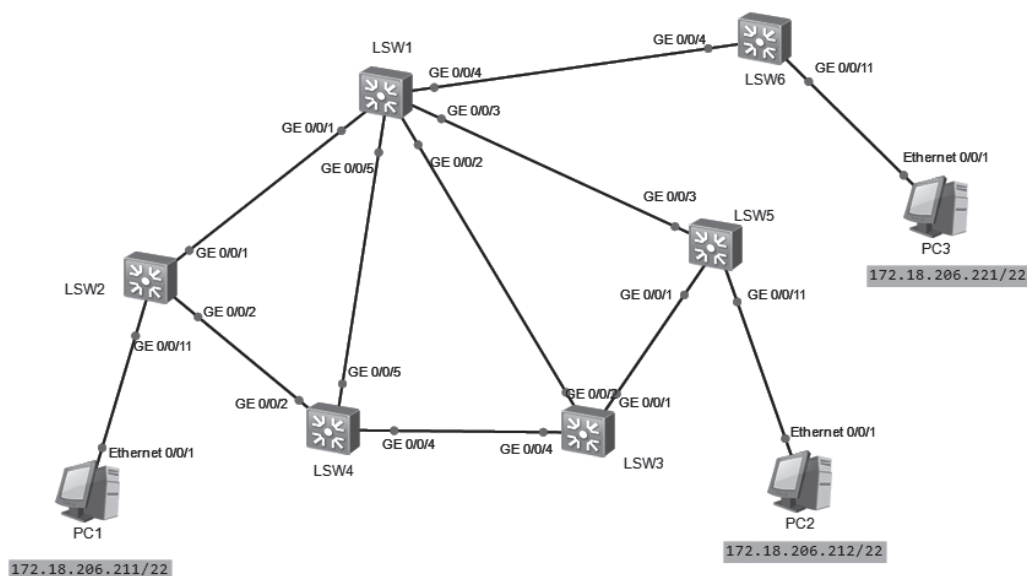


图3-1 网络拓扑图

3.2 生成树协议技术基础

3.2.1 生成树协议概述

1. 生成树协议的概念

生成树协议(Spanning Tree Protocol, STP)是由DEC公司开发,经IEEE组织修改并制定的IEEE 802.1d标准,其主要功能是解决备份连接所产生的环路问题。STP通过阻塞一个或多个冗余端口来维护一个无回路的网络,相关内容在IEEE 802.1D协议中有详细的描述。

生成树协议通过在交换机之间传递BPDU(Bridge Protocol Data Unit, 桥接协议数据单元)来互相告知交换机的链路性质、根桥信息等,以便确定根桥,决定哪些端口处于转发状态,哪些端口处于阻止状态,以免引起网络环路。BPDU包含的字段如图3-2所示。

根据STP工作原理,在环状结构中,只存在唯一的树根(Root),这个根可以是一台网桥或一台交换机,由它作为核心基础来构成网络的主干。备份交换机作为分支结构,处于阻塞状态。

配置STP的交换机端口有5种工作状态。

- (1) 阻塞状态的端口：能够接收BPDU，但不发送BPDU。
- (2) 侦听状态的端口：查看BPDU，并发送和接收BPDU以确定最佳拓扑。
- (3) 学习状态的端口：获悉MAC地址，防止不必要的泛洪，但不转发帧。
- (4) 转发状态的端口：能够发送和接收数据。
- (5) 关闭状态的端口：端口禁用或链路失效。

Bytes	Field
2	ProtocolID
1	Version
1	Message Type
1	Flags
8	Root ID
4	Cost of Path
8	Bridge ID
2	Port ID
2	Message Age
2	Maximum Time
2	Hello Time
2	Forward Deay

图3-2 BPDU包含的字段

2. 生成树协议的工作过程

生成树协议的工作过程如图3-3所示，具体分为以下3个阶段。

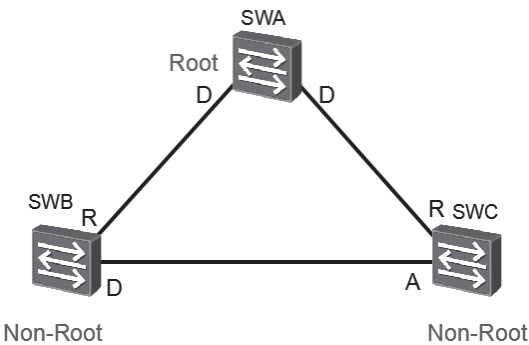


图3-3 生成树协议的工作过程

阶段一：选取唯一的根网桥(Root Bridge)

BPDU中包含Bridge ID，Bridge ID (8B) = 优先级(2B) + 交换机MAC地址(6B)。优先级值最小，或优先级值相同、MAC地址最小的称为根网桥。根网桥默认每2秒发送一次BPDU。

阶段二：在每个非根网桥选取唯一的根端口(Root Port)

MAC地址最小的端口，或端口代价相同、Port ID最小端口的称为根端口(Port ID通常为端口的MAC地址)。

阶段三：在每网段选取唯一的指定端口(Designated Port)

端口代价最小的称为指定端口。根网桥端口到各网段的代价最小，通常只有根网桥端口称为指定端口，被选定为根端口和指定端口的处于转发状态，落选端口进入阻塞状态，只侦听不发送BPDU。

3.2.2 快速生成树协议

STP协议虽然能够解决环路问题，但是收敛速度慢，影响了用户通信质量。如果STP网络的拓扑结构频繁变化，网络也会频繁失去连通性，从而导致用户通信频繁中断。IEEE于2001年发布的802.1w标准定义了快速生成树协议(Rapid Spanning-Tree Protocol, RSTP)，RSTP在STP的基础上进行了改进，实现了网络拓扑的快速收敛。

运行RSTP的交换机使用了两个不同的端口角色来实现冗余备份，Backup端口作为指定端口的备份，提供了另外一条从根桥到非根桥的备份链路；Alternate端口作为根端口的备份端口，提供了从指定桥到根桥的另一条备份路径。

当交换机到根桥的当前路径出现故障时，作为根端口的备份端口，Alternate端口提供了一个交换机到根桥的另一条可切换路径。Backup端口作为指定端口的备份，提供了另一条从根桥到相应LAN网段的备份路径。当一个交换机和一个共享媒介设备，例如Hub建立两个或者多个连接时，可以使用Backup端口；同样，当交换机上两个或者多个端口和同一个LAN网段连接时，也可以使用Backup端口，如图3-4所示。

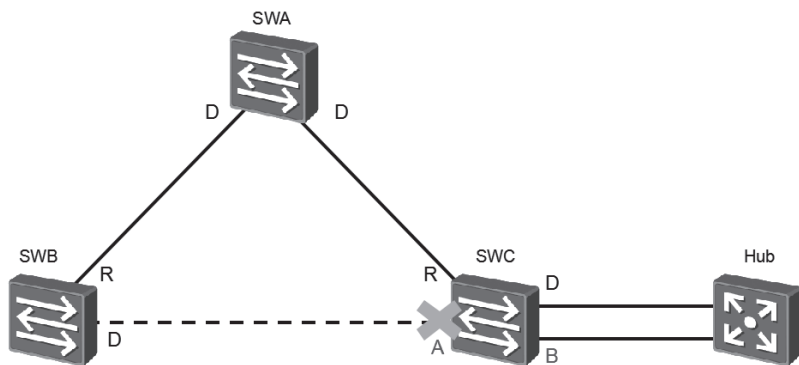


图3-4 RSTP的交换机使用了两个不同的端口

RSTP把原来STP的5种端口状态简化成3种：Discarding状态，端口既不转发用户流量，也不学习MAC地址；Learning状态，端口不转发用户流量，但是学习MAC地址；Forwarding状态，端口既转发用户流量又学习MAC地址。

除了部分参数不同，RSTP使用了类似STP的BPDU报文，即RSTBPDU报文。BPDU Type用来区分STP的BPDU报文和RST的PDU报文。

3.3 项目实施

本项目中有5个实验室需要接入校园网，为了确保各个实验室的网络访问可靠性，5台交换机使用了多条链路冗余，采用配置STP以防止交换机环路的出现。同时，在出现链路故障时，交换网络可以及时切换到备份链路，从而保证网络通信的正常进行。

1. 交换网络中配置STP的思路

- (1) 配置环网中的设备生成树协议工作在STP模式下。
- (2) 配置根桥和备份根桥设备。
- (3) 配置端口的路径开销值，实现将该端口阻塞。
- (4) 使能STP，实现破除环路。

选举根桥是LSW1，备份根桥是LSW2，阻塞端口的路径开销值是20000。STP配置状态如图3-5所示。

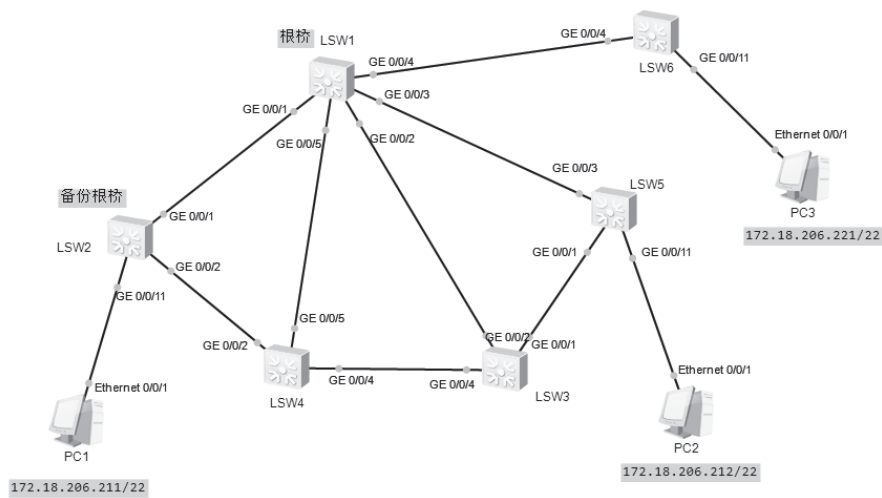


图3-5 STP配置状态

2. 配置STP工作模式

STP的工作模式可以是STP、RSTP、MSTP，本项目采用STP模式。

配置命令：

```
[LSW1]stp mode stp
```

其他交换机采用相同的命令做相同配置，不再赘述。

3. 配置根桥和备份根桥设备

(1) 配置LSW1为根桥。

```
[LSW1]stp root primary
```

(2) 配置LSW2为备份根桥。

```
[LSW2]stp root secondary
```

4. 配置端口的路径开销值，实现将该端口阻塞

(1) 配置LSW3端口G0/0/1和G0/0/4端口的路径开销值为20000。

```
[LSW3]interfaceGigabitEthernet 0/0/1
```

```
[LSW3-GigabitEthernet0/0/1]stp cost 20000
```

```
[LSW3]interfaceGigabitEthernet 0/0/4
```

```
[LSW3-GigabitEthernet0/0/4]stp cost 20000
```

(2) 配置LSW4端口G0/0/2和G0/0/4端口的路径开销值为20000。

```
[LSW4]interfaceGigabitEthernet 0/0/2
```

```
[LSW4-GigabitEthernet0/0/2]stp cost 20000
```

```
[LSW4]interfaceGigabitEthernet 0/0/4
```

```
[LSW4-GigabitEthernet0/0/4]stp cost 20000
```

(3) 配置LSW5端口G0/0/1端口的路径开销值为20000。

```
[LSW5]interface GigabitEthernet 0/0/1
```

```
[LSW5-GigabitEthernet0/0/1]stp cost 20000
```

5. 使能STP，实现破除环路

将与PC机相连的端口去使能STP。

(1) 配置LSW2端口GE0/0/11的STP去使能。

```
[LSW2]interface GigabitEthernet 0/0/11
```

```
[LSW2-GigabitEthernet0/0/11]stp disable
```

```
[LSW2-GigabitEthernet0/0/11]quit
```

(2) 配置LSW5端口GE0/0/11的STP去使能。

```
[LSW5]interface GigabitEthernet 0/0/11
```

```
[LSW5-GigabitEthernet0/0/11]stp disable
```

```
[LSW5-GigabitEthernet0/0/11]quit
```


6. 配置设备全局使能STP

(1) 设备LSW1全局使能STP。

```
[LSW1]stp enable
```

(2) 设备LSW2全局使能STP。

```
[LSW2]stp enable
```

(3) 设备LSW3全局使能STP。

```
[LSW3]stp enable
```

(4) 设备LSW4全局使能STP。

```
[LSW4]stp enable
```

(5) 设备LSW5全局使能STP。

```
[LSW5]stp enable
```

7. 除与终端设备相连的端口外，其他端口使能BPDU功能

(1) 设备LSW1的所有端口使能BPDU。

```
[LSW1]interface G0/0/1
```

```
[LSW1-GigabitEthernet0/0/1]bpdu enable
```

```
[LSW1-GigabitEthernet0/0/1]quit
```

```
[LSW1]interface G0/0/2
```

```
[LSW1-GigabitEthernet0/0/2]bpdu enable
```

```
[LSW1-GigabitEthernet0/0/2]quit
```

```
[LSW1]interface G0/0/3
```

```
[LSW1-GigabitEthernet0/0/3]bpdu enable
```

```
[LSW1-GigabitEthernet0/0/3]quit
```

```
[LSW1]interface G0/0/4
```

```
[LSW1-GigabitEthernet0/0/4]bpdu enable
```

```
[LSW1-GigabitEthernet0/0/4]quit
```

```
[LSW1]interface G0/0/5
```

```
[LSW1-GigabitEthernet0/0/5]bpdu enable
```

```
[LSW1-GigabitEthernet0/0/5]quit
```

(2) 设备LSW2的G0/0/1和G0/0/2端口使能BPDU。

```
[LSW2]interface G0/0/1
```

```
[LSW2-GigabitEthernet0/0/1]bpdu enable
```

```
[LSW2-GigabitEthernet0/0/1]quit
```

```
[LSW2]interface G0/0/2
```

```
[LSW2-GigabitEthernet0/0/2]bpdu enable
```

```
[LSW2-GigabitEthernet0/0/2]quit
```

(3) 设备LSW3的G0/0/1、G0/0/2和G0/0/4端口使能BPDU。

```
[LSW3]interface G0/0/1
```

```
[LSW3-GigabitEthernet0/0/1]bpdu enable
```

```
[LSW3-GigabitEthernet0/0/1]quit
```

```
[LSW3]interface G0/0/2
```

```
[LSW3-GigabitEthernet0/0/2]bpdu enable
```

```
[LSW3-GigabitEthernet0/0/2]quit
```

```
[LSW3]interface G0/0/4
```

```
[LSW3-GigabitEthernet0/0/4]bpdu enable
```

```
[LSW3-GigabitEthernet0/0/4]quit
```

(4) 设备LSW4的G0/0/2、G0/0/4和G0/0/5端口使能BPDU。

```
[LSW4]interface G0/0/2
```

```
[LSW4-GigabitEthernet0/0/2]bpdu enable
```

```
[LSW4-GigabitEthernet0/0/2]quit
```

```
[LSW4]interface G0/0/4
```

```
[LSW4-GigabitEthernet0/0/4]bpdu enable
```

```
[LSW4-GigabitEthernet0/0/4]quit
```

```
[LSW4]interface G0/0/5
```

```
[LSW4-GigabitEthernet0/0/5]bpdu enable
```

```
[LSW4-GigabitEthernet0/0/5]quit
```

(5) 设备LSW5的G0/0/1和G0/0/3端口使能BPDU。

```
[LSW5]interface G0/0/1
```

```
[LSW5-GigabitEthernet0/0/1]bpdu enable
```

```
[LSW5-GigabitEthernet0/0/1]quit
```

```
[LSW5]interface G0/0/3
```

```
[LSW5-GigabitEthernet0/0/3]bpdu enable
```

```
[LSW5-GigabitEthernet0/0/3]quit
```

8. 验证配置结果

经过以上配置，在网络计算稳定后，执行以下操作，验证配置结果。

(1) 在LSW1上执行display stp brief命令，查看端口状态和端口的保护类型。

[LSW1]display stp brief

MSTID	Port	Role	STP State	Protection
0	GigabitEthernet0/0/1		DESI FORWARDING	ROOT
0	GigabitEthernet0/0/2		DESI FORWARDING	ROOT
0	GigabitEthernet0/0/3	DESI	FORWARDING	ROOT
0	GigabitEthernet0/0/4	DESI	FORWARDING	ROOT
0	GigabitEthernet0/0/5	DESI	FORWARDING	ROOT

将LSW1配置为根桥后，与LSW3相连的端口G0/0/2在生成树计算中被选举为指定端口，并在指定端口上配置根保护功能。

(2) 在LSW3上执行display stp interface G0/0/2 brief命令，查看端口G0/0/2状态，结果为端口G0/0/2在生成树选举中成为指定端口，处于FORWARDING状态。

[LSW3]display stp interface G0/0/2 brief

MSTID	Port	Role	STP State	Protection
0	GigabitEthernet0/0/2		DESI FORWARDING	NONE

(3) 在LSW4上执行display stp brief命令，查看端口状态。

[LSW4]display stp brief

MSTID	Port	Role	STP State	Protection
0	GigabitEthernet0/0/2		ALTE DISCARDING	NONE
0	GigabitEthernet0/0/4		ALTE DISCARDING	NONE
0	GigabitEthernet0/0/5	ROOT	FORWARDING	NONE

端口G0/0/5在生成树选举中成为根端口，处于FORWARDING状态。

端口EthG0/0/2和G0/0/4在生成树选举中成为Alternate端口，处于DISCARDING状态。

9. 让STP协议自动选举根桥

在实际应用中，还有一种STP配置方式，即让交换机自动选举根桥，交换机内自动选举根端口和阻塞端口。

在这种配置模式下，各个运行STP协议的交换机会根据自己的桥ID和端口ID自动选举根桥、根端口等一系列操作。在选举结束后，将阻塞端口阻塞，从而达到防止环路的目的。

10. 链路故障时的处理

因为STP协议会在交换网络中定时发送BPDU来查询周围交换机的状态，所以，当运行STP协议的交换网络中，某条冗余链路出现故障时，会自动触发STP的桥、端口选举机制，重新选举，重新建立新的生成树链路。这也就体现了冗余链路存在的意义，从而提高网络可靠性。

本章小结

在交换网络中，有多个交换机进行网状连接时，可能会导致交换环路的出现，生成树协议的目的就是避免交换环路的出现，从而提升网络的安全性和可靠性。本章介绍了生成树协议的技术基础，通过一个实际案例，讲解了生成树协议的工作模式和配置方法。在实际应用过程中，生成树协议是一个经常要使用到的协议，在交换网络中具有非常重要的意义。