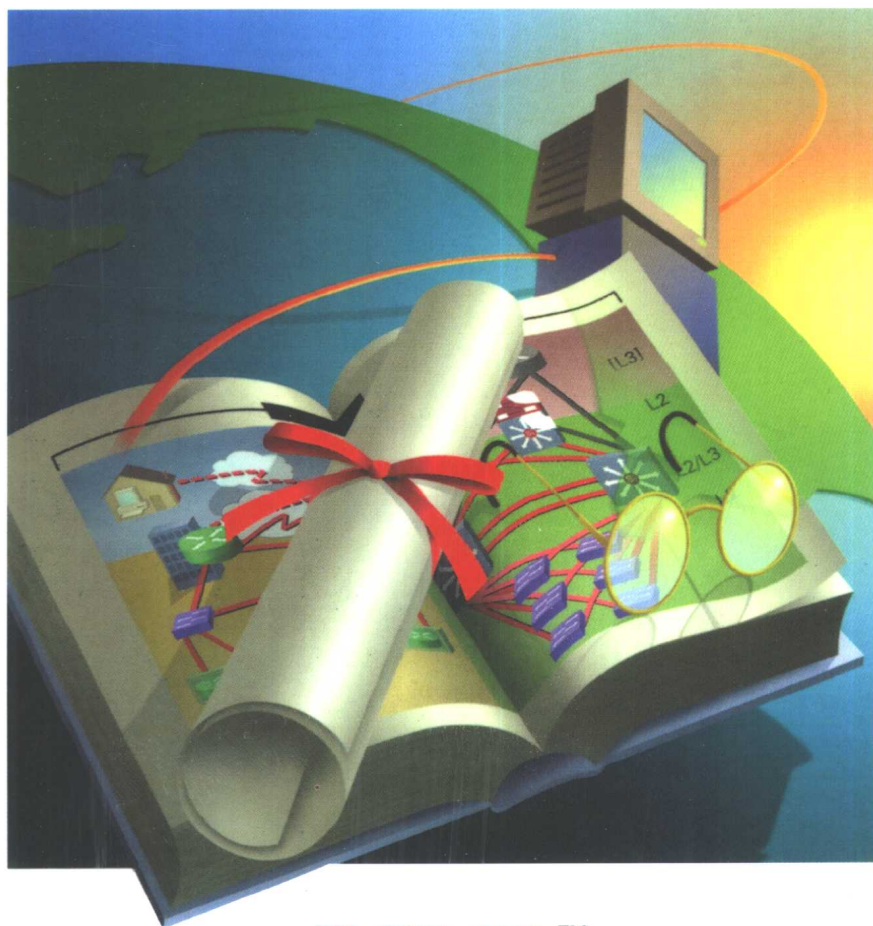


Authorized Companion for the
Cisco Networking Academy Program



著:
〔美〕Mark McGregor
译:
李逢天 张帆
程实

CCNP™

思科网络技术学院教程
(第五学期) 高级路由

CCNP™ CISCO NETWORKING
ACADEMY PROGRAM:
SEMESTER FIVE COMPANION GUIDE
ADVANCED ROUTING

人民邮电出版社
www.pptph.com.cn

CISCO SYSTEMS

CISCO PRESS
www.ciscopress.com

CCNPTM 思科网络技术学院教程 (第五学期) 高级路由

[美] Mark McGregor 著

李逢天 张帆 程实 译

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

CCNP 思科网络技术学院教程.第五学期.高级路由/ (美) 麦格雷戈 (McGregor,M) 著; 李逢天, 张帆, 程实译.—北京: 人民邮电出版社, 2001.12

ISBN 7-115-09765-8

I.C... II.①麦...②李...③张...④程... III.计算机网络—路由选择—教材 IV.TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 077401 号

版权声明

Mark McGregor: CCNP Cisco Networking Academy Program:
Semester Five Companion Guide Advanced Routing

Authorized translation from the English language edition published by Cisco Press.

Copyright © 2001 by Cisco Press.

All rights reserved. For sale in mainland China only.

本书中文简体字版由美国 **Cisco Press** 出版公司授权人民邮电出版社出版。未经出版者书面许可, 对本书任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有, 侵权必究。

CCNP™思科网络技术学院教程 (第五学期) 高级路由

- ◆ 著 [美] Mark McGregor
译 李逢天 张帆 程实
责任编辑 陈昇
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@pptph.com.cn
网址 <http://www.pptph.com.cn>
读者热线 010-67129212 010-67129211(传真)
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787 × 1092 1/16
印张: 26.75
字数: 641 千字 2001 年 12 月第 1 版
印数: 1 - 5 000 册 2001 年 12 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记 图字: 01 - 2001 - 2048 号

ISBN 7-115-09765-8/TP·2526

定价: 50.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010)67129223

内容提要

本书用来辅助读者学习 Cisco 网络学院教程中的高级路由概念。

全书共分 10 章，分别介绍了高级的 IP 编址技术、CIDR、NAT、DHCP、IP 帮助地址、动态路由、静态路由、缺省路由、单区域 OSPF、点对多点 OSPF、多区域 OSPF、EIGRP、路由归纳、路由再发布、路由过滤器、路由映像 (route map)、策略路由、BGP 和网络安全等知识。

另外，本书各章都提供了可以独立或以小组形式完成的综合性实验室练习。这些示例和实验室练习可以为中级水平的学员提供通过 CCNP 路由考试所需的知识和技能。

本书主要面向那些想要获得高级 Cisco 路由器配置技术和证书的学员，尤其针对在全球的众多学校中学习 CCNP 思科网络技术学院课程的学员。在教室里，本书可被用作补充教材和实验室手册。本书还面向包括公司培训职员在内的读者，尤其适合网络设计和运行、维护人员。

致学员

《CCNP 思科网络技术学院教程（第五学期）高级路由》是一本专门支持和辅助思科网络技术学院在线课程的书。它是由 Cisco Systems 公司的专家编写的，用来帮助学员尽可能地利用在网络学院的培训时间。

本辅助参考将帮助学员在即使没有计算机的条件下仍然能够继续学习。开发该在线课程的 Cisco Systems 的专家希望学员能利用这本辅助参考书从培训中尽可能多获益。

在完成思科网络技术学院教程第八学期的学习内容后，学员将能够为参加 Cisco 认证的网络专员（CCNP）考试做好了准备。为本书和在线课程提供素材的专家们同时也为 CCNP 考试出考题。因此，本辅助参考书是帮助学员准备 CCNP 考试的极佳学习指导。同时，它也是帮助读者在网络领域继续深造的一本绝好的参考工具书。培训中所用的这些书和材料在今后几年中也将是读者的有用资源。

关于作者

Mark McGregor 获得过 CCNP、CCDA、CCAI 证书，是加州 Los Medanos 学院思科网络技术学院的地区协调人。自 1997 年以来，他一直执教于网络技术学院，并且目前在 Cisco Systems 公司有关学院项目的 World Wide Education 部门工作。Mark 拥有加利福尼亚戴维斯大学英文专业的学士学位，并且从 1998 年开始一直是 Cisco Press 的技术审稿人。作为一名有 7 年多教龄的公立学校教师，他一直乐于教授各种年龄和背景的学生，并从他们那里学习各种知识。

关于技术审稿人

Daniel Altbaum: 拥有 CCNA、CCDA 证书，是南加州一家有线电视供应商——Ultronics 公司的首席技术官。7 年多来他一直担任网络设计和实施顾问，专门针对中到大型的企业。Daniel 也是加州 San Diego 的思科网络技术学院教师，同时还是佛罗里达州一家技术培训公司——Intense School 的 Cisco 高级教师。

Phil Benfield: 拥有 CCNA、CCAI 证书，拥有斯坦福大学人类生物学专业的学士学位，曾在加利福尼亚 Santa Cruz 大学学习网络工程。自从 1998 年来，他一直是 Cisco 地区学院的教师。Phil 目前是 Santa Clara 县教育局的高级网络工程师，在那里，他参与维护和管理为 33 所校区和 3 个县办公室提供 Internet 和业务系统接入的广域网（WAN），以及为 500 多个用户提供网络服务的局域网，使用了包括 ATM、DSL、ISDN、帧中继、BGP、OSPF 及吉比特以太网在内的多种网络技术。

Dusty Tubbs: 拥有 CCAI 证书，在美国海军工作了 30 年之后开始了他的第二职业——教师。Dusty 现在从事教育工作，并以其教学热情而闻名。目前，他在加州 Ventura 的 Ventura 学院担任教师，在那里教授思科网络技术学院课程，

并且也是教程的协调人。他还是 Cisco 公司 World Wide Education 部门的兼职成员，致力于 CCNA 项目。Dusty 从事计算机工作超过 35 年，现在正沉浸于和他的学生们分享其丰富知识和经验的快乐之中。

关于丛书编辑

Vito Amato 是 Cisco Systems 公司 World Wide Education 部门的高级技术作者。以前，他曾在亚历山大州（ASU）的教育部任信息技术总监。Vito 在亚历山大州立大学获得了博士学位，专业是以教育媒体和计算机为重点的课程开发和指导。此外，Vito 目前还在 ASU 教授远程教学理论和实践。在过去 3 年中，Vito 一直参与思科网络技术学院教程的计划、写作和实施。他的研究、写作和教学重点是将信息技术集成到教学/学习环境中。



致

谢

首先，我要感谢 Kelli Remington、Nicolas Gold、Kirk Amos、Max Byrd、Charlie Jones、Joe Berkich 和 Don Janes。感谢你们对我的信任。

感谢几位杰出的人士构思并开发了这本书，结识他们对我来说是件幸事。其中主要应感谢我的编辑们，Dave Dusthimer 和 Kitty Wilson Jarrett。没有 Dave 的领导和 Kitty 的技能，本书可能就不会存在。

我欠思科网络技术学院教程小组很多。在这里，尤其要感谢 George Ward，是他将思科网络技术学院带进了全球成千上万所学校。还有 Vito Amato、Andrew Large 和 Kevin Johnston，也对这个项目给予了鼓励、专业技术支持和指导。我特别要感谢 Cisco 全球教育的 Todd White，是他领导了 CCNP 课程的开发，并且为之奠定了基础。

最后，我想感谢以下 6 位为本书内容贡献了时间和专业知识的人士：我的学生，Carol Schleder、Brad Downey (CCIE #6357) 和 Paul Ortiz；以及技术审稿人 Daniel Altbaum、Phil Benfield 和 Dusty Tubbs。从很大程度上说，这本书是属于他们的。

《CCNP 思科网络技术学院教程（第五学期）高级路由》是设计来辅助读者学习 Cisco 网络学院教程中的高级路由概念。通过示例和实验室练习，本书力求为中级水平的学员提供通过 CCNP 路由考试所需的知识和技能，并为他们增加在计算机网络业界的工作机会。

本书中的概念包括高级的 IP 编址技术、CIDR、NAT、DHCP、IP 帮助地址、动态路由、静态路由、缺省路由、单区域 OSPF、点对多点 OSPF、多区域 OSPF、EIGRP、路由归纳、路由再发布、路由过滤器、路由映像（route map）、策略路由、BGP 和网络安全。

对于所有这些高级网络题目，学员们将会发现实验室动手练习可以帮助自己更好地完成学习任务。正是出于这个目的，本书各章都提供了可以独立或以小组形式完成的综合性实验室练习。

本书适宜的读者

本书主要面向那些想要获得 Cisco 路由器高级配置技术和相关认证证书的学员，尤其针对在全球的众多学校中学习 CCNP Cisco 网络学院课程的学员。在教室里，本书可被用作补充教材和实验室手册。

本书还面向包括公司培训职员在内的读者。对于想充分利用网络功能的公司和院校来说，必须要在网络设计和运行、维护方面培训一大批人员。

本书的结构

本书分为 10 章、3 个附录和一个词汇表。

第 1 章，“可扩展型网络概述”，通过分析广域网设计和实施中关键的增长问题而介绍可扩展性的概念。

第 2 章, “IP 编址”, 概要介绍了有类别 IPv4 编址的限制, 并介绍了其最新的增强之处, 比如 CIDR、VLSM 和 NAT。本章也探讨了 DHCP 和 IP 帮助地址特性。

第 3 章, “路由概述”, 对 3 种类型的路由——动态、静态和缺省路由进行了概述。同时也对距离矢量型和链路状态型路由协议进行了比较和对照。

第 4 章, “OSPF”, 介绍了 OSPF 路由协议, 包括毗邻关系建立过程、OSPF 数据包类型、DR/BDR 选举、OSPF 接口优先级、OSPF 网络类型, 以及点对多点 OSPF 配置。

第 5 章, “多区域 OSPF”, 讨论了体系化的多区域 OSPF, 重点集中在不同的 LSA 类型、路由器类型和区域类型方面。所介绍的区域类型包括标准、主干、末节、完全末节和次末节区域。

第 6 章, “EIGRP”, 描述了 Cisco 专用的 EIGRP 路由协议, 重点介绍了弥散修正算法 (DUAL)。

第 7 章, “路由优化”, 向读者介绍了能够用来提高路由性能的各种技术。配置技术包括路由过滤器、被动接口、路由映像、策略路由和路由再发布。

第 8 章, “边界网关协议 (BGP)”, 对外部网关协议、BGP 和自治系统连接中所存在的问题进行了介绍。

第 9 章, “BGP 扩展”, 讨论了有效扩展 BGP 实施和将自治系统连接到 ISP 的方法。

第 10 章, “安全”, 探究了 Cisco IOS 的访问控制特性, 包括以下类型的访问控制列表: 标准、扩展、动态、由名字索引的、基于时间的和自反访问控制列表。本章也介绍了基于上下文的访问控制。

附录 A, “复习题答案”, 提供了各章末尾复习题的答案。

附录 B, “实验室练习问题答案”, 提供了各章实验中问题的答案。

附录 C, “Adtran Atlas 550 配置”, 提供了完成实验 4-3 所需要的对 Atlas 550 的帧中继配置。

“词汇表”, 包括了本书中所有的关键术语。

本书的特点

本书提供了有助于读者学习高级网络互联和 Cisco IOS 技术的要素。

插图、示例和表格

本书包含插图、示例和表格, 有助于对概念、命令和流程顺序的讲解。插图示出了网络的布局 and 过程, 示例提供了 IOS 的配置样例。此外, 表格提供了命令的总结和特性、特点的比较。

注释、警示和技术注释

注释突出了有关某个主题的重要信息, 警示提醒读者注意配置方面的陷阱。本书也包含技术注释, 它主要是为相关主题和在现实世界中的实施问题提供背景信息。

各章小结

在各章的末尾有对该章所包含概念做的小结, 它给出了该章的大纲, 并且可以作为学习辅导材料。

复习题

在各章小结后面是用作章末学习情况评估的 10 道复习题。这些问题被设计用于加深对本章概念的理解，并且帮助学员在继续学习下一章之前评估对本章内容的理解程度。

实验室练习

在各章复习题之后，包括一组基本的动手实验，这些实验是为帮助学员准备 CCNP 认证和高级课程学习而设计的。这些实验室练习一步一步地引导学员掌握重要的配置概念。每章都有 2 到 4 个实验，需要由 3 个学员组成的小组用大约 2 个小时来完成。本书各实验所用的网络拓扑结构是不相同的。在各实验前面都有一张包含基本配置信息的物理结构图。因为这些实验可以在各种类型的设备上执行，所以实验图被画得尽可能通用些。实验中所包含的命令输出反映了如果学员使用标准 CCNP 实验包时所能看到的情况。

命令句法的表示习惯

本书中命令句法的表示习惯与 Cisco IOS 命令参考 (Command Reference) 中的表示习惯相同，具体如下：

- 粗体字表示输入的命令和关键字。在实际例子中（而非句法中），粗体字表示用户的输入（例如一个“**show**”命令）；
- 斜体字表示用户应输入具体值的参数；
- 方括号[]表示任选项；
- 竖条|用于分开待选的、互斥的选项；
- 方括号中的大括号和竖线，例如[x{y|z}]，表示任选项中的必选项。我们可以选择不输入方括号中的任何内容；但是如果选择输入的话，我们就必须要输入或选择大括号中的某个选项。

注：各个实验都是被设计来容纳 CCNP 思科网络技术学院所要求的 CCNP 教学实验包的。如果学员有这样的实验包，就可以用 2621 系列路由器作为 RTB 来创建多达 3 个独立的实验网菜 (pod)。每个实验网菜需要不超过 3 台路由器和 1 台交换机（或者集线器）。同时，还需要 3 台带终端仿真程序、以太网卡 (NIC)、TCP/IP 软件和 Web 浏览器的工作站。如果没有 CCNP 教学实验包，学员们也可以用适当的 Cisco 路由器组建自己的实验网菜。我们建议采用 2 台 2620 系列路由器和 1 台 2621 路由器。

目 录

第 1 章 可扩展型网络概述	1
1.1 分级网络设计模型	2
1.1.1 三层网络设计模型	2
1.1.2 在分级体系中路由器的功能	3
1.2 可扩展型网络的主要特点	7
1.2.1 提高网络的可靠性和可用性	8
1.2.2 提高网络的响应速率	10
1.2.3 提高网络的效率	12
1.2.4 提高网络的可适应性	14
1.2.5 提高网络可访问性的同时保证其安全性 ..	14
1.3 小结	15
1.4 复习题	15
1.5 关键术语	17
1.6 实验室练习	18
1.6.1 实验 1-1: 采用 RIP 的等开销负载均衡 ..	19
1.6.2 实验 1-2: 采用 IGRP 的非等开销负载均衡	21
第 2 章 IP 编址	25
2.1 有类别编址	26
2.1.1 IP 地址的类别	27
2.1.2 子网掩码	30
2.1.3 地址危机	34
2.2 无类别域间路由	35
2.2.1 路由聚合和超网	35
2.2.2 超网和地址分配	36
2.3 IP 地址问题和解决方案	38
2.4 可变长度子网掩码	40
2.5 路由归纳概述	43
2.6 私有 IP 地址和 NAT	44

2.6.1	不连续子网	46
2.6.2	网络地址转换 (NAT)	46
2.7	使用无编号 IP 地址 (IP Unnumbered)	54
2.8	DHCP 和 Easy IP	55
2.8.1	配置 IOS DHCP 服务器	56
2.8.2	Easy IP	58
2.9	使用帮助地址 (Helper Address)	58
2.10	小结	61
2.11	复习题	62
2.12	关键术语	63
2.13	实验室练习	64
2.13.1	实验 2-1: 配置 VLSM 和 IP Unnumbered	64
2.13.2	实验 2-2: 配置 NAT	67
2.13.3	实验 2-3: 使用 DHCP 和 IP 帮助地址	70
第 3 章	路由概述	73
3.1	路由	74
3.1.1	配置静态路由	75
3.1.2	配置动态路由	77
3.1.3	距离矢量型路由选择协议	81
3.1.4	链路状态型路由选择协议	82
3.1.5	混合型路由选择协议: EIGRP	83
3.1.6	缺省路由	83
3.1.7	静态缺省路由	84
3.2	浮动静态路由	91
3.3	收敛	92
3.4	路由计算	93
3.4.1	到一个目的地的多条路由	94
3.4.2	路由更新的发起	94
3.4.3	路由度量值	95
3.5	小结	95
3.6	复习题	96
3.7	关键术语	97
3.8	实验室练习	98
3.8.1	实验 3-1: 从 RIP 转移到 EIGRP	99
3.8.2	实验 3-2: 配置 IGRP	100
3.8.3	实验 3-3: 用 RIP 和 IGRP 配置缺省路由	103
3.8.4	实验 3-4: 配置浮动静态路由	105
第 4 章	OSPF	109

4.1 OSPF 概述	110
4.1.1 OSPF 状态	111
4.1.2 OSPF 网络类型	113
4.1.3 OSPF 的 Hello 协议	114
4.2 OSPF 的运行步骤	118
4.2.1 步骤 1: 建立路由器毗邻关系	118
4.2.2 步骤 2: 选举指定路由器 (DR) 和备用指定路由器 (BDR)	119
4.2.3 步骤 3: 发现路由	120
4.2.4 步骤 4: 选择适当的路由	120
4.2.5 步骤 5: 维护路由信息	121
4.3 在单个区域内的路由器上配置 OSPF	122
4.3.1 配置 OSPF 进程 ID	123
4.3.2 为提高稳定性而配置一个环回地址	125
4.3.3 修改 OSPF 路由器优先级	126
4.3.4 修改链路成本 (cost)	127
4.3.5 配置认证	128
4.3.6 配置 OSPF 计时器	129
4.4 在非广播型网络中的 OSPF	130
4.4.1 全互联帧中继	132
4.4.2 部分互联帧中继	133
4.5 小结	137
4.6 复习题	137
4.7 关键术语	139
4.8 实验室练习	140
4.8.1 实验 4-1: 配置 OSPF	140
4.8.2 实验 4-2: 分析 DR/BDR 选举过程	143
4.8.3 实验 4-3: 在帧中继上配置点对多点 OSPF	145
第 5 章 多区域 OSPF	149
5.1 创建多个 OSPF 区域	150
5.1.1 OSPF 路由器类型	151
5.1.2 链路状态通告 (LSA) 类型	152
5.1.3 OSPF 区域类型	153
5.2 配置 OSPF 在多个区域上的运行	155
5.2.1 扩散 LSU 到多个区域	156
5.2.2 更新路由表	157
5.3 使用和配置 OSPF 的多区域组件	157
5.3.1 配置 ABR	157
5.3.2 配置 OSPF 路由归纳	158
5.4 使用末节 (Stub) 和完全末节 (Totally Stubby) 区域	159

5.4.1	末节和完全末节区域的标准	160
5.4.2	配置末节和完全末节区域	160
5.5	满足主干区域的要求	162
5.6	使用和配置 NSSA	164
5.7	核验多区域 OSPF 运行	167
5.8	小结	167
5.9	复习题	168
5.10	关键术语	169
5.11	实验室练习	170
5.11.1	实验 5-1: 多区域 OSPF	170
5.11.2	实验 5-2: 配置末节和完全末节区域	174
5.11.3	实验 5-3: 配置 NSSA	175
5.11.4	实验 5-4: 配置虚拟链路	177
第 6 章	EIGRP	179
6.1	EIGRP 概念	180
6.1.1	EIGRP 与 IGRP 的兼容性	180
6.1.2	EIGRP 术语	183
6.1.3	EIGRP 对 Novell IPX 的支持	184
6.1.4	EIGRP 对 AppleTalk 的支持	184
6.2	EIGRP 技术	185
6.2.1	邻居发现与恢复	185
6.2.2	可靠的传输协议 (RTP)	185
6.2.3	DUAL 有限状态机	185
6.2.4	协议相关模块	186
6.3	EIGRP 数据结构	187
6.3.1	邻居表	187
6.3.2	路由表	188
6.3.3	拓扑结构表	189
6.3.4	EIGRP 数据包类型	194
6.4	EIGRP 的收敛特性	195
6.5	EIGRP 的运行	197
6.5.1	建立邻居表	197
6.5.2	发现路由	198
6.5.3	选择路由	198
6.5.4	维护路由	199
6.6	配置 EIGRP	200
6.6.1	为 IP 网络配置 EIGRP	200
6.6.2	为 IPX 网络配置 EIGRP	201
6.6.3	控制 IPX RIP	201

6.6.4 控制 SAP 更新	202
6.7 为 IP 归纳 EIGRP 路由	203
6.8 核验 EIGRP 的运行	205
6.9 小结	206
6.10 复习题	206
6.11 关键术语	208
6.12 实验室练习	208
6.12.1 实验 6-1: 与 IGRP 一起配置 EIGRP	209
6.12.2 实验 6-2: 配置 EIGRP 容错	211
6.12.3 实验 6-3: 配置 EIGRP 归纳	213
第 7 章 路由优化	217
7.1 控制路由更新数据流	217
7.1.1 被动接口	218
7.1.2 用发布控制列表 (distribute-list) 过滤路由更新	220
7.2 策略路由	222
7.3 使用多种路由选择协议	224
7.3.1 管理距离 (Administrative Distance)	227
7.3.2 再发布 (Redistribution) 指南	229
7.3.3 配置再发布	230
7.4 RIP 和 OSPF 发布示例	235
7.4.1 第一阶段: 配置 RIP	236
7.4.2 第二阶段: 将 OSPF 添加到一个 RIP 网络的核心	236
7.4.3 第三阶段: 添加 OSPF 区域	238
7.5 小结	239
7.6 复习题	240
7.7 关键术语	241
7.8 实验室练习	242
7.8.1 实验 7-1: 配置发布控制列表和被动接口	242
7.8.2 实验 7-2: 配置路由映射图 (Route Map)	246
7.8.3 实验 7-3: 再发布 RIP 和 OSPF	248
第 8 章 BGP	251
8.1 自治系统 (Autonomous System)	252
8.1.1 单宿主 (Single-Homed) 自治系统	253
8.1.2 多宿主 (Multihomed) 非跨越自治系统	254
8.1.3 多宿主跨越自治系统	255
8.2 BGP 的基本操作	255
8.3 BGP 邻居关系协商	257
8.3.1 BGP 有限状态机 (FSM)	257

8.3.2	BGP 打开 (Open) 消息	259
8.3.3	BGP 通知 (Notification) 消息	260
8.3.4	BGP Keepalive 消息	262
8.3.5	BGP 更新 (Update) 消息	262
8.4	基本 BGP 配置	264
8.5	核验 BGP 的运行	268
8.6	对等关系 (Peering)	270
8.7	BGP 路由进程	272
8.7.1	BGP 路由进程模型	272
8.7.2	实施 BGP 路由策略	274
8.7.3	通过属性控制 BGP 路由	275
8.7.4	BGP 路由判定过程	289
8.8	小结	290
8.9	复习题	290
8.10	关键术语	292
8.11	实验室练习	292
8.11.1	实验 8-1: 配置 BGP	293
8.11.2	实验 8-2: 配置 IBGP 和 EBGP 会话	295
8.11.3	实验 8-3: 使用 AS_PATH 属性	299
8.11.4	实验 8-4: 使用 LOCAL_PREF 和 MED 属性	301
第 9 章	BGP 扩展	305
9.1	路由反射器 (Route Reflector)	305
9.2	BGP 路由过滤	309
9.2.1	用过滤器实施路由策略	309
9.2.2	用发布控制列表过滤 BGP 路由	309
9.2.3	“ip prefix-list” 命令	312
9.3	“COMMUNITIES” 属性	314
9.4	对等体组	317
9.5	冗余、对称和负载均衡	320
9.5.1	冗余	320
9.5.2	对称	322
9.5.3	负载均衡	323
9.5.4	在单宿主 AS 中的冗余、对称和负载均衡	323
9.6	多宿主连接	324
9.7	BGP 再发布	326
9.8	小结	328
9.9	复习题	329
9.10	关键术语	330
9.11	实验室练习	331