



CCIE 职业发展系列
CCIE Professional Development

ciscopress.com



TCP/IP 路由技术

(第一卷) (第二版)

Routing TCP/IP

Volume I, Second Edition

A detailed examination of interior routing protocols

[美] Jeff Doyle, CCIE #1919 著
Jennifer Carroll, CCIE #1402 译
葛建立 吴剑章 译

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

CCIE 职业发展系列

TCP/IP 路由技术 (第一卷)
(第二版)

[美] Jeff Doyle, CCIE #1919 著
Jennifer Carroll, CCIE #1402

葛建立 吴剑章 译

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

TCP/IP 路由技术. 第1卷: 第2版/ (美) 多伊尔 (Doyle, J.), (美) 卡罗尔 (Carroll, J.)
著; 葛建立, 吴剑章译. —北京: 人民邮电出版社, 2007.1
(CCIE 职业发展系列)

ISBN 978-7-115-15429-3

I. T... II. ①多...②卡...③葛...④吴... III. 计算机网络—通信协议—路由选择
IV. TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 125587 号

版 权 声 明

Jeff Doyle, Jennifer Carroll: Routing TCP/IP, Volume I, Second Edition (ISBN: 1587052024)

Copyright © 2006 Cisco Systems, Inc.

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

All rights reserved.

本书中文简体字版由美国 Cisco Press 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。

CCIE 职业发展系列

TCP/IP 路由技术 (第一卷) (第二版)

-
- ◆ 著 [美] Jeff Doyle, CCIE#1919
Jennifer Carroll, CCIE#1402
 - 译 葛建立 吴剑章
 - 责任编辑 李 际
 - ◆ 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@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
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: 48
字数: 1 208 千字 2007 年 1 月第 1 版
印数: 1-4 000 册 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2006-0305 号

ISBN 978-7-115-15429-3/TP · 5783

定价: 99.00 元

读者服务热线: (010)67132705 印装质量热线: (010)67129223

内 容 提 要

本书是一本详细而又完整地介绍互连网络内部网关协议 (IGP) 的专业书籍, 堪称有关 IGP 方面不可多得的经典之作。本书共分三个部分。第一部分主要介绍了网络和路由选择的基本知识, 其中包括 IPv4 协议、IPv6 协议和路由技术。第二部分是本书的精华, 这一部分详细、深入地讲述了各种常用的内部路由协议, 如 RIP、RIPv2、RIPng、无类别路由选择、EIGRP、OSPFv2、OSPFv3、IS-IS 等协议, 每一章除了对该协议的实现机制和参数详尽阐述, 使读者对协议的实现原理有一个清晰的理解外, 还通过在实际网络环境中的实例, 详细地论述了该协议在 Cisco 路由器上的配置和故障处理方法, 帮助读者获取大量解决实际问题的专业技能。第三部分介绍了如路由重新分配、缺省路由/按需路由选择、路由过滤、路由映射等多种重要而有效的路由控制工具, 用来创建和管理多个 IP 路由选择协议的协调和互操作。附录部分讲述了二进制、十六进制转换、访问列表、CCIE 提示等内容。

相对于第一版, 本书第二版具有以下更新: 在第一版详细讲述 IPv4 协议中 IGP 的基础上, 大量增加了相应协议在 IPv6 协议中的实现和配置, 其中单独一章用来讲述 IPv6 中应用的 OSPFv3 协议, 这是本书新版的一大亮点; 同时本书根据 Internet 和 Cisco IOS 系统的最新发展, 适当地删减了如网桥、IGRP 等过时的内容, 并增加了许多新的 IOS 增强特性的讲解。

本书的读者不仅是那些准备 CCIE 考试的考生, 也是任何需要完整理解 IPv4, 特别是 IPv6 下 TCP/IP 内部路由选择协议实现的网络设计和工程人员。本书中对协议细节的讲解和对网络实例的探讨相信会让读者受益匪浅。

Forward for Chinese–Language Edition

Since the publication of *Routing TCP/IP* Volumes I and II, I have had many opportunities to visit the People's Republic of China. In no other country have I received as many warm compliments on these books as I have in China. I am therefore delighted that PT Press is now offering a version of Volume I in Mandarin.

China is aggressively expanding its Internet infrastructure, and along with it services such as mobile IP and online gaming. In the next few years, I predict that China will become the world's leader in the commercial implementation of IPv6. Already China exceeds Japan in the number of PCs, and it will soon have the world's largest mobile network. All of this expansion means that over the coming decade, there will be an enormous increase in the demand for IP networking experts. The Cisco Certified Internet Expert program provides the opportunity for potential employers to discern the best networking engineers, and it provides those holding the certification a testament to their expertise. Therefore the CCIE program plays an increasingly important role in the growing Chinese networking industry. I hope that you, the reader, will find this book useful in your preparation to earn this coveted certification.

Best Regards,

Jeff Doyle



中文版第一版序

自从《TCP/IP 路由技术》第一卷和第二卷出版以来，我有了很多机会可以来到中国。这些书在其他国家都没有像在中国这样受到大家的热情关注。因此，我很高兴人民邮电出版社能够在中国出版本书第一卷的中文版本。

在中国，Internet 基础设施正在迅猛发展与普及，而且也提供了诸如移动 IP 和在线游戏之类的服务。在未来的几年，我预计中国将成为 IPv6 商业化部署的世界领导者。在 PC 机的拥有量上，中国已经超过了日本，并且在不远的将来，中国会拥有世界上最大的移动网络。所有这些巨大的发展都意味着在将来的 10 年里，中国对 IP 网络专家的需求量将会有很大的增长。Cisco 认证互联网络专家（CCIE）计划可以为企业管理者提供一个渠道，以便识别出最优秀的互联网络工程师；同时，它也为专业技能的证明提供了确实的依据。因此，CCIE 计划在中国互联网络产业的发展中将扮演日益重要的角色。我非常期待读者在获取令人羡慕的认证准备过程中，能从本书获益。

最诚挚的问候

Jeff Doyle



Foreword for the Second Chinese Edition

As I mentioned in the foreword of the first Chinese version of this volume, I make several trips each year to the People's Republic of China and have made many friends there; on every trip I meet people who have kind words about *Routing TCP/IP* Volumes I and II. I am, therefore, very pleased to introduce this Mandarin version of the second edition of Volume I.

Although the first edition of Volume I was first published more than eight years ago, the material it covers remains as relevant today as it was then. Understanding the concepts and protocols in this book is essential for building a foundation of knowledge before progressing to more advanced networking concepts. Too often, engineers try to tackle such difficult topics as IP multicast, complex inter-domain peering, routing policies, and MPLS traffic engineering without first acquiring a firm grasp of the routing basics underlying all of them all. This book, if you study it carefully, will give you that necessary foundation and help you to confidently move on to more advanced subjects.

In the foreword to the previous edition I made several predictions that have since become reality. For example, China now has the world's largest mobile network, which continues to grow at a tremendous rate. I also predicted that China would become the world leader in IPv6 development and deployment. Through the China Next-Generation Internet (CNGI) project, that prediction is quickly moving to reality. There is no other country in the world for which IPv6 is such an urgent and essential protocol, and therefore the coverage of IPv6 in this second edition is of particular importance to Chinese readers.

The translation of any book into another language is a daunting project, and I would like to offer my warmest gratitude to Mr. Ge Jian Li for his hard work in making this Mandarin version available to you.

I would also like to thank Mr. Liu Tao and PT Press for making this translation possible.

And finally I would like to thank you, dear reader, and the thousands of other Chinese readers who have made *Routing TCP/IP* such a success in China.

Best Regards,

Jeff Doyle

Denver, Colorado



中文版第二版序

正如我在本卷第一版的中文版序言中所提到的，我每年都会到中国几次，并在中国结识了很多朋友；每次我都遇到一些提及有关《TCP/IP 路由技术》卷一和卷二的朋友。现在我非常高兴地把卷一第二版的中文版介绍给大家。

虽然本书第一版的首次出版距今已有 8 个年头，但它涵盖的一些内容到现在依然实用。了解本书中提及的概念和协议是建立基本知识架构的基础，这将有利于进一步学习更高级的网络知识。我们常常可以看到，一些网络工程师在未牢固掌握路由技术的基本知识之前，就试图去解决诸如 IP 多播路由、复杂的域间对等体、路由策略以及 MPLS 流量工程等困难的课题，而这些高级课题都是建立在前者基础之上的。读者如果认真学习本书，将会获取必要的基本知识，从而可以帮助你有信心进一步学习更高级的课题。

在本书第一版的序言中，我的几个预言现在已经变成了现实。例如，中国现在已经具有世界上最大的移动通信网络，并且仍在继续高速发展。我也预言了中国将成为发展和部署 IPv6 网络的全球领导者。通过中国下一代因特网的项目（CNGI）可以看出，这个预言也将很快变成现实。现今世界上没有哪个国家比中国更迫切需要 IPv6 协议，因此，在本书第二版中讲述的 IPv6 技术，对于中国的读者来说显得尤其重要。

把任何一本书翻译成另一种语言都是一件令人生畏的工作，我对本书译者葛建立先生致以最诚挚的谢意，是他所做的努力工作使本书的中文版本得以与读者见面。

我也要感谢人民邮电出版社和刘涛先生使本书中文版的翻译项目变成现实。

最后，我想感谢您，亲爱的读者朋友，以及使《TCP/IP 路由技术》在中国如此成功的其他中国读者。

最诚挚的问候

Jeff Doyle
美国科罗拉多州，丹佛



原书序

1976年,当我在数字设备公司(DEC)第一次看到 Arpanet IMP 的时候,今天我们熟知的网络当时还处于发展初期。SNA、XNS 和 DECnet 等网络处于早期发展阶段,当时有关分组交换和电路交换的讨论还是热点话题。我们这些从事交换和路由选择算法设计的人处理的是具有 64KB 内存的路由器(虽然我们那时不这样称呼它们),56KB 的数据链路被认为是非常快的,具有 256 个节点的网络就已经足够大了。假如你是卖出了那 256 台计算机的销售人员,你将会拥有可观的财富并可以退休了。

30 年是很长的一段时间,如今,组成 Internet 的单个网络就包含了数以千计或数以万计的节点,整个 Internet 包含了数以亿计的计算机。在我们这一代的网络发展过程中,最显著的一点是基于 TCP/IP 协议簇的 Internet 基础并没有大的变化;虽然在这期间,计算机体系结构经历了四代或更多代,操作系统技术经历了整整 3 代,而传输速度也提高了 5 个数量级。

然而,我们仍然把分组交换网络中的路由选择看作一种“魔法”,为什么呢?

首先,设计强壮的、可扩展的分布式算法是困难的。虽然我们非常希望网络尽可能的简单,但是不可避免的要遇到一些特别的实际案例、网络优化、特殊的拓扑结构,以及链路技术等各种情况,因此网络的复杂性也在一点一点的增加。由于整个网络铲车式升级(fork lift upgrade)是几乎不可行的,因此,目前同时存在多种技术版本,我们必须维护一个向后兼容的、无缝连接的网络来提供网络服务。当控制数据包路由选择的策略变得越来越复杂的时候,我们设计用来自动发现和配置网络的能力就会受到限制,我们又不得不退回到依赖于手工配置和调整性能的技术。最后,当这些网络运行的环境已经从相互之间默认为信任关系的环境发展为会受到内外部攻击的环境时,设计和部署更加安全可靠的路由选择系统就变成一种迫切需要解决的优先问题。

本书完全解开了这个“魔法”之谜。新版的第一卷涵盖了

TCP/IP 网络所有必不可少的基础知识，并给出了理解在 Internet 的某个单一管理区域内如何完成路由选择所需要的所有工具。首先，在开始的有关地址和静态路由的章节中介绍了分组交换网络中路由技术的基本概念，然后深入地讨论了目前最流行的 IGP——RIP、EIGRP、OSPF 以及 IS-IS 协议。最后讲述了路由重新分配、路由过滤和策略路由选择等方面的高级课题。

这次出版的第二版也增加了有关 IPv6 方面的基本内容，并提供了 Cisco IOS 软件系统最新版本有关示例和配置的所有最新内容。

本书对于任何希望全面了解在 TCP/IP 网络中路由选择是如何实现的读者都是有帮助的：从路由选择算法的设计原则、地址规划的发展到设计和配置大型自主系统网络路由选择的实践等。

David Oran
Cisco Fellow

作者简介

Jeff Doyle (CCIE #1919) 是专注于研究 IP 路由选择协议、MPLS 和 IPv6 方面的专家。他设计了或协助设计了遍及北美、欧洲、中国、韩国以及日本等很多地区的大型 IP 服务提供商的网络。Jeff 经常在为数众多的研究团体和会议上出现，并在 NANOG、JANOG、APRICOT 以及 IPv6 论坛会议上发言。Jeff 拥有 Memphis 州立大学的文学学士学位，并在新墨西哥大学学习了电气工程专业。Jeff 目前生活在科罗拉多州的丹佛地区。

Jennifer Carroll (CCIE #1402) 是华盛顿州雷蒙德地区的独立网络顾问专家。在过去的 15 年中，她设计、实施和优化了许多 TCP/IP 网络，并开发和讲授了多种有关路由选择协议和 Cisco 公司路由器方面的网络组网和网间互连课程。读者可以通过电子邮件 jennifer.carroll@ieee.org 与 Jennifer 联系。

关于技术审稿人

Frank Knox, 是 Skyline Computer 公司的首席技术执行官, 已经供职 6 年多。他具有两个 CCIE 资格证书 (CCIE#3698: SNA/IP 和路由选择/交换), 同时也是一位 CCSI (Cisco 公司授权资深讲师)。除了负责 CTO 方面的职责外, Frank 教授过几门与 Cisco 有关的高级课程, 其中包括为期一周的 CCIE 实验室考试准备专题培训等。他是与路由器相连的大型主机技术的权威, 也是有关网络互连集成方面问题和技术的专家 (例如, SNA/IP 和语音/数据)。他在 IBM 公司、GTE (Verizon) Directories 公司以及 Skyline Computer 公司积累了超过 37 年的网络组网经验。这些经验包括服务、技术支持、产品规划、管理, 以及网络互连教育的各个方面。另外, Frank 还为 Dallas 大学电信 MBA 项目开发和讲授了一些课程。他在 Pace 大学获得了电信方面的硕士学位 (4.0 GPA)。

Steven Edward Moore 在 Cisco 公司工作的 6 年半的时间里, 作为一名工程师担任了不同的角色, 目前转到了 IP Routing Protocol Scalability 团队 (IP 路由选择协议扩展团队)。在这个团队, 他主要是围绕对网络与协议的可扩展性进行扩展的各个方面进行工作: 考虑协议架构的新特性和优化, 设计对当前协议的可扩展性的测试和评估, 帮助客户一起实现对客户网络的功能扩展, 以及参加像 Networkers 会议这样的活动, 来指导其他人怎样从路由选择的角度来增强他们的网络性能和可扩展性。

Rena Yang 是 Cisco 公司的一位软件工程师。她具有超过 6 年的实现 Cisco IOS 软件编码方面的经验。目前她从事 IS-IS 协议方面的工作。在这之前, 她主要从事 IPv4、UDP、访问列表、策略路由和路由选择基础架构方面的工作。Rena 在 MIT 获得了理学学士和计算机科学工程硕士学位。

献 词

我愿将本书献给我的妻子 Sara 和我的孩子们：Anna、Carol、James 和 Katherine。

——Jeff

我愿将本书献给我的丈夫 Mike 和我的儿子：Mitchell 和 Jonathan。他们的耐心和支持帮助我得以完成本书。

——Jennifer

致 谢

感谢 Brett Bartow、Chris Cleveland、Andrew Cupp、San Dee Phillips，以及 Cisco Press 的所有工作人员，是他们的工作与努力使本书得以完成。

我们需要感谢本书的技术编辑 Steven Moore、Rena Yang 和 Frank Knox，感谢他们认真细致的编辑工作以及对本书提出的非常重要的忠告和建议。

我们还要感谢 Frank Knox、Carl Pike、Chris Tonini 和其他 Skylabs 网络的工作人员。Skylabs lab 为我们提供了设备安装和访问方便的实验室，使我们可以完成本书中所有配置和案例研究所需要的工作。

前 言

路由技术即使在最小的数据通信网络中也是基本的要素。在某种程度上，路由技术和路由器的配置是相当简单的。但是，当网络的规模越来越大，并且越来越复杂的时候，路由选择问题就变得比较突出和难以控制了。或许，有点不恰当地说，作为一名网络系统顾问，我应该感谢当前出现的大规模路由技术难题，这些问题给了我谋生的手段。假设没有它们，“你何以为生？”这句习语可能就会不幸地成为我每天生活词汇的一部分了。

Cisco 认证互联网专家（CCIE）在大型网络的设计、故障排除和管理能力方面得到广泛的认同。这种广泛的认同来自于这样一个事实：一个网络工作人员仅仅依赖参加一些课程的培训，并反复依赖记忆一些书面测试的内容是不可能成为一名 CCIE 的。一名 CCIE 必须通过一个众所周知、难度非常大的、并且需要亲自动手操作的实验室考试，从而使他或者她的专业技能得到提高。

本书的目标

本书是专门讨论 TCP/IP 路由问题的两卷书中的第一本。在早期撰写本书的第一版时，Cisco Systems 的前 CCIE 项目经理 Kim Lew 说过：“我们的目标是使人们成为 CCIE，而不是使人们通过 CCIE 实验室考试。”作者完全赞同这种观点，并且把它作为一种指导原则贯穿到本书的写作当中。虽然这本书包括了很多案例研究和练习可以帮助读者准备 CCIE 实验室考试，但是作者的主要目的还是提高读者对 IP 路由技术的理解——能有一个普通的水平并能够在 Cisco 的路由器上进行实现。

读者对象

本书的读者可以是任何需要完整理解 TCP/IP 内部路由选择协议的网络设计人员、管理人员或者工程人员。虽然本书的具体实践方面针对 Cisco IOS，但是本书的内容也可以应用于

任何路由选择平台。

这本书不仅仅是写给那些计划成为 Cisco 认证互联网专家的读者阅读的，而且是写给任何希望提高自己的 TCP/IP 路由技能的读者。这些读者可以划分为以下三类：

- “初学者”——具有基本的网络知识，并且希望开始深入学习网络互连的读者；
- 中级水平的网络专业人员——具有一定的路由器（Cisco 或其他厂商的产品）操作经验，并且计划提高自己的技能达到专家水平的读者；
- 经验丰富的网络专家——这些读者具有丰富和广泛的 Cisco 路由器的实践经验和专业技能，并且准备参加 CCIE 实验室考试。但是，这类读者需要自己制定一个复习表和一系列检验与确认自己技能的练习。

本书主要面向具有中级水平的网络专业人员。同时，对于初学者，本书提供了一个网络基本知识的概要。而对于网络方面的专家而言，本书也提供了一些磨炼他们的专业技能所需要的挑战性内容。

对第一版所做的改动

第二版所进行的改动受到几个因素的影响。第一个因素是 CCIE 本身。当笔者撰写本书的第一版的时候，CCIE——现在称为路由选择与交换专业的 CCIE——还是 Cisco 公司提供的惟一的认证考试。目前，已经形成了将 CCIE 作为塔尖的认证途径的一系列认证。此外，标准的网络互连专业人员也要比 1997 年具备更多的知识。考虑到这一点，我们删除了原书的第一章，其中包括网桥、路由器和网络地址的最基本的概念（读者在网络中看到网桥设备的最后时间是什么时候？）。

影响本书第二版所做变化的第二个因素是 Cisco 公司的 IOS 软件系统的变化。在撰写本书第一版的时候，IGRP 协议还经常使用，而现在它已经是一个过时的协议，存在的主要意义就是作为 EIGRP 协议的前身。因此，在第二版中删除了有关 IGRP 协议的章节，并在讲述 EIGRP 协议的章节中将 IGRP 协议作为历史回顾的一部分来讲述。IOS 软件系统的命令集本身也进行了扩展，以便适应新的功能和选项；我们也增加了在 20 世纪 90 年代后期还不存在的协议扩展和命令。

最后，IPv6 协议在 1997 年还主要是建议草案，现在却已经处于全球部署的早期阶段了。读者需要了解有关这个协议更为细节的知识，以及在不远的将来支持 IPv6 的 IP 路由选择协议扩展方面所需要的知识；如果读者还没有准备好，那么本书深入地探讨了 IPv6 的路由选择技术。

这个版本的其他一些变化是语法和语义方面的。例如，在第一版中，笔者对作为数据链路的“网络”和作为由路由器连接的网络集的“互连网络”进行了区分。虽然这些术语的确很精确，但也有些呆板，现在已经很少使用“互连网络”这样的术语了。相反，“网络”经常用来表示从本地链路到像 Level 3、NTT 和 Sprint 这样的全球自主系统的网络。我们尝试在这个新的版本中带给读者比较现代和通用的术语描述。

本书的内容组织

本书共有 14 章，分为 3 个部分。

第一部分“路由选择的基本知识”介绍了 IPv4 协议和 IPv6 协议的基本知识，以及路由技术的基本概念。虽然一些水平较高的读者可能希望跳过第 1 章，但是我建议这些读者至少应该浏览一下第 3 章“静态路由”和第 4 章“动态路由选择协议”的内容。当然，如果读者还不熟悉 IPv6 协议的话，也必须阅读第 2 章“IPv6 介绍”。

第二部分“内部路由选择协议”包括了 IP 路由选择的各种内部网关协议。针对具体协议的每一章都是从该协议的基本原理、实现机制以及参数讲解开始的，并在读者对该协议有了一个总体的了解后，接着通过多个不同的网络拓扑环境中的案例研究，详细地讲述了该协议在 Cisco 路由器上的配置和故障诊断方法。

外部网关协议，BGP 协议，还有组播路由选择、服务质量保证、路由器的安全与管理以及网络地址转换等一些主题，将在“TCP/IP 路由技术 第二卷”中介绍。

第三部分“路由控制和互操作性”介绍了多种有效的工具，用来创建和管理多个 IP 路由选择协议的互操作性，例如缺省路由、路由过滤等。同样地，最后部分的这些章节对创建复杂的路由选择策略所需的必要工具做了一个初步介绍，这些策略将会在本书卷二中详细介绍。这些章节和第二部分的章节一样，也是先从概念开始讲解，并以案例研究作为结束。

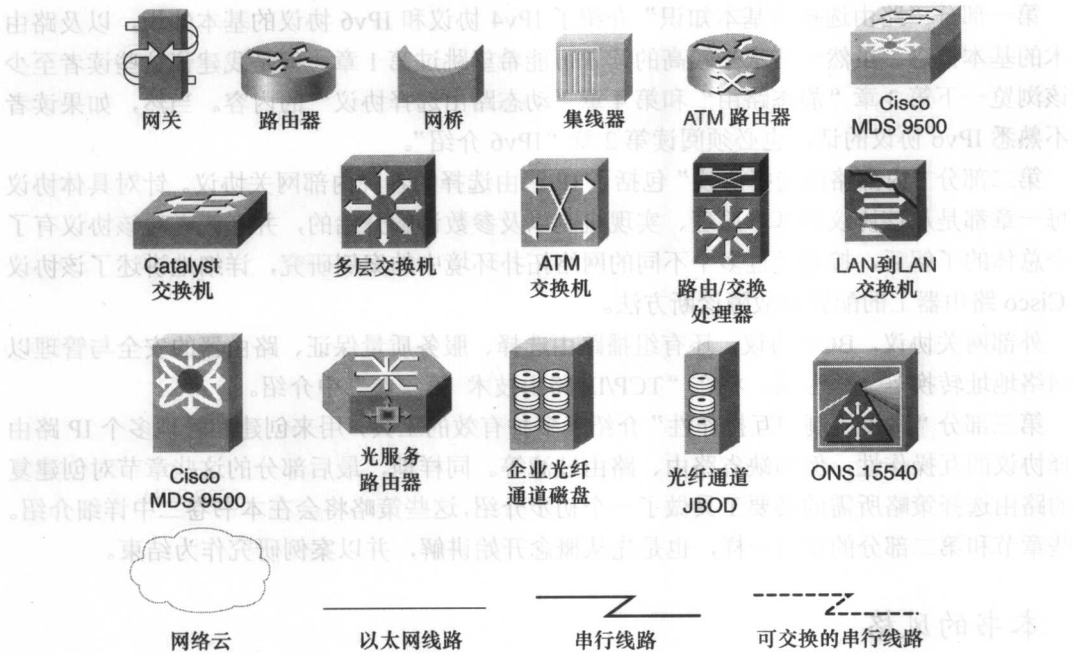
本书的风格

大多数章节在结束时都配有一组复习题、配置练习和故障诊断练习。复习题主要侧重于每章主题的基本理论方面，而配置和故障诊断练习主要侧重于每章主题在 Cisco 设备上的实际实现。

在每章末尾还列出了一张命令总结表，简要介绍了在这一章中使用到的 Cisco IOS 中的所有重要命令。这些命令使用的惯例和 Cisco IOS 命令参考中使用的惯例是一样的。

本书使用的图标





命令语法定义

本书在介绍命令语法时使用的约定与《IOS 命令参考手册》相同，这些约定如下：

- **粗体字**表示实际需要键入的命令和关键字，在实际的配置示例和输出信息（不是一般的命令语法）中，粗体字表示用户手工输入的命令（例如 **show** 命令）；
- *斜体字*表示需要用实际数值替换的参数；
- 竖线 (|) 表示在几个选项中选择一项，并且这些项是互相排斥的；
- 方括号 [] 表示可选的参数；
- 大括号 { } 表示一个必需的选项；
- 方括号内嵌大括号 [{}] 表示在一个可选项中的必选项。

译者注：本书第一版出版后，受到了广大读者的关注与厚爱，译者收到许多读者的来信，本书新版对第一版中出现的错误进行了修正，在此感谢读者的批评指正，欢迎广大读者来信交流，译者 E-mail: cfa35@126.com。