



IP路由协议疑难解析

CCIE Professional Development Troubleshooting IP Routing Protocols

The comprehensive, hands-on guide for resolving IP routing problems

[美]

Zaheer Aziz, CCIE #4127
Johnson Liu, CCIE #2637
Abe Martey, CCIE #2373
Faraz Shamim, CCIE #4131

著

孙余强 译

IP路由协议疑难解析

CCIE Professional Development
**Troubleshooting
IP Routing Protocols**

[美] **Zaheer Aziz, CCIE #4127**
Johnson Liu, CCIE #2637 著
Abe Martey, CCIE #2373
Faraz Shamim, CCIE #4131
孙余强 译

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

IP路由协议疑难解析 / (美) 阿齐兹 (Aziz, Z.) 等著; 孙余强译. -- 北京: 人民邮电出版社, 2013.7
ISBN 978-7-115-31810-7

I. ①I… II. ①阿… ②孙… III. ①计算机网络—通信协议—路由选择 IV. ①TN915.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第088900号

版 权 声 明

Troubleshooting IP Routing Protocols (ISBN: 1587143720)

Copyright © 2012 Pearson Education, 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。

-
- ◆ 著 [美] Zaheer Aziz, CCIE #4127
Johnson Liu, CCIE #2637
Abe Martey, CCIE #2373
Faraz Shamim, CCIE #4131
- 译 孙余强
责任编辑 傅道坤
责任印制 程彦红 焦志炜
- ◆ 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 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 46.75
字数: 1041千字 2013年7月第1版
印数: 1-3000册 2013年7月北京第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字: 01-2012-3992号



定价: 118.00元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

内 容 提 要

本书是一本详尽而又实用的 IP 路由协议故障排除手册，内容层次分明、阐述清晰、分析透彻、理论与实践并重，能够帮助读者解决实战中所遇到的各种 IP 路由协议常见故障。本书涉及了各种新式和老式 IP 路由协议，包括：RIP、EIGRP、OSPF、IS-IS、BGP 和 PIM 等。作者在讲述如何排除上述路由协议故障时，非常注重理论与实战的紧密结合。

本书适合从事计算机网络技术、管理和运维工作的工程技术人员阅读，同样可以作为高校计算机和通信专业本科生研习网络技术的参考资料。

关于作者

Faraz Shamim, CCIE #4131, Cisco 公司服务提供商高级网络服务团队 (ANS-SP) 的网络咨询工程师, 负责为多家 Internet 服务提供商提供技术咨询服务。CCO (Cisco 在线连接) (www.cisco.com) 上的许多与 ODR、OSPF、RIP、IGRP、EIGRP 以及 BGP 等路由协议有关的文档、白皮书和技术指南都出自 Faraz 之手。Faraz 还言传身教, 参与 Cisco 公司新入职工程师的岗前培训工作, 负责制定并讲授“Cisco 互联网络基础知识 (Cisco Internetworking Basic)”等培训课程。此外, 他还为美国科罗拉多大学博尔德分校 (BU) 和巴基斯坦卡拉奇的赛尔·赛义德工程与技术大学 (SSUET) 的硕士研究生讲授过“Cisco 互联网络技术入门 (Cisco Internetworking Bootcamp)”等课程。Faraz 曾在 SSUET 当过客座教授, 并在巴基斯坦拉哈尔的管理与科学大学 (LUMS) 发表过有关 OSPF 的演讲。Faraz 还参与设计了 CCIE LAB 考试, 并担任 CCIE LAB 考试的考官。Faraz 曾多次在 Cisco Networker 年会上发表 OSPF 主题方面的演讲。与本书其他作者一样, Faraz 刚加盟 Cisco 公司时, 也是在 Cisco TAC (技术支援中心) 为客户提供 IP 路由协议方面的技术支持工作。目前, Faraz 已经为 Cisco 公司效力了 5 年。

Zaheer Aziz, CCIE #4127, Cisco 公司 Internet 基础设施服务团队的网络咨询工程师, 负责为大型 ISP 提供 MPLS 和 IP 路由协议方面的技术咨询服务。在 Cisco 效力的最近 5 年里, Zaheer 在 Cisco Networker 年会以及多场 Cisco 技术活动中都发表过演讲。他有时还会为《Cisco Packet》杂志和巴基斯坦 Spider Internet 杂志供稿, 在杂志上发表一些以 MPLS 和 BGP 为主题的文章。Zaheer 持有堪萨斯州威奇塔州立大学的电子工程学硕士学位, 喜欢打板球和乒乓球, 并热衷于阅读。Zaheer 目前婚姻状态美满, 有一个可爱的 5 岁儿子 Taha Aziz。

Johnson Liu, CCIE #2637, 在 Cisco 公司高级网络服务团队担任支持企业客户的资深客户网络工程师。他在南加利福尼亚大学获得了电子工程学硕士 (MSEE) 学位, 为 Cisco 公司效力了 5 年之久。他还是 Cisco Press 多部书籍(包括 *Internet Routing Architecture* 和 *Large-Scale IP Network Solutions* 等) 的技术编辑。Johnson 曾参过多家大企业和网络服务提供商的大型 IP 网络项目的设计工作, 这些项目都涉及 EIGRP、OSPF 和 BGP 等路由协议。Johnson 还定期在 Networker 年会上就 EIGRP 的部署和排障等主题发表演讲。

Abe Martey, CCIE #2373, Cisco 公司 12000 系列 Internet 路由器的产品经理, 专攻高速 IP 路由技术和高速 IP 路由系统。担任产品经理之前, 他在 Cisco TAC 担任技术支持工程师, 尤其擅长 IP 路由技术。随后, 又进入 ISP 团队(现为基础设施工程服务团队), 专门与顶级 Internet 服务提供商打交道。Abe 持有电子工程学硕士学位, 在 Cisco 公司效力了 6 年之久。Abe 还是 *IS-IS Design Solutions* 一书的作者。

关于技术审稿人

Brain Morgan, CCIE #4865, CCSI, Allegiance 电信公司数据网络工程部主任, 在业界工作了 12 年之久。加盟 Allegiance 公司之前, 他担任过讲授 ICND、BSCN、BSCI、CATM、CVOICE 以及 BCRAN 课程的讲师/咨询师。他还与他人合著了 *Cisco CCNP Remote Access Exam Certification Guide* 一书, 同时也是多本 Cisco Press 图书的技术编辑。

Harold Ritter, CCIE #4168, Cisco 公司高级网络服务部的网络咨询工程师, 负责 Cisco 公司大客户的网络设计和实施工作, 并参与排除各种路由协议故障。他有 8 年以上的网络工程实施经验。

John Tiso, CCIE #5162, Cisco 公司银牌合作伙伴 NIS 公司的资深技术专家。他持有 Adepth 大学自然科学专业的学士学位。Tiso 还持有 CCDP 证书, 并通过了 Cisco 安全和语音访问专业认证以及 Sun、Microsoft 和 Novell 的认证。

献 辞

Zaheer Aziz:

把此书献给已故慈父（愿上帝保佑他的阴灵），感谢他为改善我们的生活质量而付出的努力。父亲的一生是独立自强、勇于奋斗、艰难困苦的一生，对于我目前相对舒适的工作而言，这算是一种鞭策，它将伴随我的一生。天若有情，父亲一定会为看到此书而高兴，可 he 已不在人世；毫无疑问，流淌着空军血液的父亲一定会为看到此书而热血沸腾，可 he 已不在人世；如果能看到此书，他势必会为我振臂欢呼，可 he 已不在人世。因此，我愿同样为我们辛劳一生的母亲能为我的这一成就而感到自豪。我们这个家能有今天，母亲居功至伟，祝她幸福、长寿。

Johnson Liu:

把此书连同我最深的爱献给我的妻子 Cisco Liu，她赋予我著书立说的灵感和动力。

Abe Martey:

把此书献给驻扎在全球各地的 Cisco TAC 以前和现在的全体同仁。感谢你们用非凡的热情，无私的奉献精神，为世界上任何一个角落的网络运维人员所提供的最优良的技术支持和故障排除服务。

Faraz Shamim:

把此书献给我的父母，他们给我的关爱，我永生难报。我还要感谢他们一直给予我的祈祷。我要感谢我的妻子，每当我厌倦写作时，她总会给我鼓励；同样要感谢我的儿子 Ayaan 和 Ameen，你们总是在耐心地期待我的关注。

致 谢

Faraz Shamim:

感谢真主，感谢你给我著书立说的机会，我希望本书能够帮助读者解决有关 IP 路由协议的故障。

感谢我的顶头上司 Sronivas，以及前任领导兼师傅 Andrew Maximov 在我写作本书期间所给予的关照。特别要感谢 Bob Vigil，他恩准我在 RIP 章节中采用由他编写的某些演讲素材。还要感谢 Alex Zinin，他帮助我明确了本书涉及的某些 OSPF 概念。要感谢本书的其他几位作者 Zaheer Aziz、Abe Martey 和 Johnson Liu，感谢你们在交稿期来临之际对我喋喋不休的包容。最后要感谢 Cisco Press 的 Chris Cleveland 和 Amy Lewis，感谢二位能一次次容忍我们推迟交稿。

Zaheer Aziz:

感谢上帝赐予我完成本书的动力。

我要真心感谢我的妻子，感谢你对我的支持、宽容以及对于我长期致力于写作本书的理解。感谢我所效力的 Cisco 公司的弹性工作制，特别要感谢我的顶头上司 Srinivas Vegesna，感谢你们让我工作、著书两不误。还要感谢 Faraz Shamim（本书第一作者），感谢你从 San Jose 打电话邀我合著本书，当时我正在 Washington 出席 1999 年 IETF 第 46 次会议。感谢 Moiz Moizuddin，感谢你独立审阅了我所著章节技术方面的内容。我要感谢我的师傅 Syed Khalid Raza，感谢你在技术上对我的栽培，是你把我引入了 BGP 这扇门。最后，我要感谢促成本书出版的 Cisco Press，尤其要感谢 Christopher Cleveland 和 Brain Morgan，二位的建议不仅大大提高了本书的质量，还使得本书的写作过程更为顺利。

Johnson Liu:

我要感谢我在 Cisco 公司的朋友和同仁，感谢你们陪我一起加班加点，排除 IP 路由协议故障。你们的敬业精神和专业技能都无可挑剔。特别要感谢我的顶头上司 Andrew Maximow 和 Raja Sundaram，感谢二位在我为 Cisco 公司效力的那些年里所给予的关照。最后，要感谢本书的技术编辑，感谢你们为提高本书的质量所提出的宝贵建议，以及所付出的努力。

Abe Martey:

首先，我要向本书的其他几位作者兼我的同僚 Faraz、Johnson 和 Zaheer 表示诚挚的感谢，感谢你们构思了这样一个题材，并邀我参与其中。我们都曾在 CiscoTAC 下辖的路由协议团队共事，在这里，我们都学到了丰富的 IP 路由协议排障经验。我们谨通过本书向非 Cisco 公司的网络工程师分享我们的排障经验。

自加盟 Cisco 公司以来，许多 TAC 工程师、研发工程师，以及我在 TAC 的直接和非直接领导不但对我关照有加，而且还在技术上给予我大量的指导和帮助。我要对这个培养出大量优秀人才的摇篮致以崇高的敬意。没有 Cisco 公司培养出的这些人才，Internet 将达不到今天这样的规模。我还要感谢许多其他同事（人名太多，无法一一列出），感谢多年来你们无私分享的与网络技术有关的点点滴滴。

在我的职业生涯里，我与世界各地的许多网络从业人员都建立了良好的个人关系，其中有一些是 Cisco 公司的客户，而另外一些则是通过 IETF、NANOG、IEEE 以及其他网络技术会议和论坛所结识。我要真心感谢你们所分享的知识 and 经验，以及你们对网络技术未来发展的专业见解和设想。

我还要向 Cisco Press 的编辑 Amy Lewis、Chris Cleveland，以及一干技术审稿人表示最诚挚的感谢，感谢你们为本书的出版所给予的帮助。最后要感谢我的几位家人，感谢你们在本书写作期间给我的支持与鼓励。

序

坐在 Cisco 公司 K 座 3 楼的办公室里，我正在阅读一封 Cisco Press 的 Kathy Trace 发给我的电子邮件，信中问我是否有兴趣写一本网络技术书籍。她说她曾读过我在 Cisco CCO 上发表的有关网络技术的心得体会，她觉得我很有“前途”，也想把我培养成 Cisco Press 的技术作者。我对这事儿很感兴趣，自言自语道“太棒了，那就这么着吧！”但应该选择什么样题材呢？

我首先想到的就是 OSPF。Johnson 刚好在我前排就坐，我问他：“嘿，Johnson，想和我一起写本书么？”他回答道：“写书？”我说：“是的，写书，你是怎么想的？”他考虑了片刻，点头道：“好吧！那写点什么呢？Cisco Press 出过的网络技术书籍虽然涵盖了 IP 路由协议的方方面面，但还有一个主题尚未涉及，那就是如何排除 IP 路由协议故障。”

显而易见，Johnson 的想法跟他的老婆有关。每当 Johnson 的老婆上班时间给他打电话时，Johnson 总会因为忙着解决客户的网络故障而让她久等。于是，Johnson 的老婆（她的名字刚好也叫 Cisco）给他出了个主意，那就是让他写一本以排除路由协议故障为主题的书，授人以渔，让客户的工程师读过之后能自行排除网络故障。有了这本书，Cisco TAC 一定会少接不少 CASE，这样的话，Johnson 在上班时就有空接老婆电话了。

这个想法实在是太妙了！此前还没有谁写过这种题材的书呢。我马上又打电话给正在华盛顿参加 IETF 第 46 次会议的 Zaheer，告诉他我们写书的意图。他欣然接受了我们的邀请。我们随即成立了一个由三名 Cisco TAC 工程师组成的作者团队。在过去三、四年间，我们三人都在 TAC 处理与路由协议有关的各种网络故障，而我们当中的每个人都至少精通一到两种 IP 路由协议。顶头上司 Raja Sundaram 也常说“我希望你们三人能分别专攻一种路由协议，并成为该领域内的顶尖高手！”我最擅长的路由协议是 OSPF，Johnson 则精通 EIGRP 和多播

路由协议，而 Zaheer 擅长的是 BGP。很快，我们就意识到，还疏忽了一种非常重要的路由协议：IS-IS。我们几个对 IS-IS 的认知，还远达不到去著书立说，教导读者如何排除其故障的水平。因此，Zaheer 建议，与 IS-IS 有关的内容由 Abe Martey 来完成。Abe 当时已答应为 Cisco Press 写一本以 IS-IS 为主题的书，但他还是被我们的热情所打动，同意加入我们这个作者团队。

开始相关章节的写作时，我们就立志要把本书写成一本能帮助网管人员解决各种 IP 路由协议故障的书籍，而许多网管人员也渴望在市面上能买到这样的书。书中的内容都是取自过去二十多年来，我们为各行各业的客户排除 IP 路由协议故障时所积累的实战经验。我们想让本书成为“一站式”的 IP 路由协议排障手册和参考指南。为此，在设计本书的章节时，我们不但为各种路由协议设立了一章“故障排除”，还添加了一章“理解协议”，以帮助读者回顾相关路由协议的原理。本书同样可以作为 CCIE 认证考试的备考书籍。本书向读者传授的是如何解决网络中发生的各种 IP 路由协议故障。本书不可能虑及所有故障场景，但所提供的故障排除思路和技巧有助于帮助读者排除网络中发生的常见故障。

Syed Faraz Shamim

前 言

随着 Internet 的极速发展，网络工程师在网络的构建、维护和排障方面所要付出的努力也将成倍增长。由于网络故障的排除工作是一项需要项目经验积累的实用性技能，因此为了满足快速增长的 Internet 的运维需求，降低网络技术的学习难度，让网络工程师尽快掌握各种排障技能，就成为了重中之重。IP 路由技术是 Internet 技术的基石，能否尽快排除 IP 路由协议故障将成为降低网络停运时间的关键。降低网络停运时间也随着由 Internet 承担的关键性应用程序的增多而变得倍加重要。本书将细述如何排除网络故障，也会深入探讨维护网络完整性的诀窍。

本书向读者提供了排除 IP 路由协议故障的独门秘籍，侧重于例举典型的 IP 路由协议故障场景，同时会详尽展示排障方法。本书集 Cisco TAC 团队多年排障经验之大成，提供的排障方法涉及 BGP、OSPF、IGRP、EIGRP、IS-IS、RIP 和 PIM 等 IP 路由协议，首先会介绍上述每一种路由协议的基本概念，随后会顺着网络工程师接手解决各种 IP 路由协议故障时的思路，一步步地给出排障过程。本书能让读者全面掌握各种 IP 路由协议的排障技能和相关实战经验，还能帮助读者顺利通过 CCIE 考试，成为货真价实的 CCIE。

读者对象

本书的读者水平应为中级以上，本书假设读者已对构建 IP 网络时用到的各种 IP 路由技术，以及其他相关协议和技术都有着一般性的了解。

本书的读者对象应该是负责保障网络高可用性的网络管理员、网络运维工程师，以及准备参加 CCIE 考试的考生。

本书的组织结构

本书设计灵活，读者既可从头到尾通读，也可根据工作需要，在章、节之间自由翻阅。

- **第 1 章，“理解 IP 路由选择”**——本章介绍了 IP 路由协议的基本概念，重点关注以下主题：
 - IP 编址概念；
 - 静态路由和动态路由；
 - 动态路由；
 - 路由协议的管理距离；
 - 路由器快速转发。

本书其余章节则是以两章为一组，每组针对一种具体的路由协议。每组中的第一章会介绍相关路由协议的基本概念，第二章则介绍符合实战要求的排障方法。以下列出了本书其余各章的具体内容：

- **第 2 章，“理解 RIP 路由协议”**——本章重点关注排除 RIP 故障所要必备的相关基本概念，主要包括以下内容：

- 度量；
- 计时器；
- 水平分割；
- 含毒性逆转的水平分割；
- RIP-1 数据包格式；
- RIP 的运作方式；
- RIP 为什么不支持非连续网络；
- RIP 为什么不支持可变长子网掩码；
- RIP 与默认路由；
- RIP 协议的扩展功能；
- 兼容性问题。

- **第 3 章，“排除 RIP 故障”**——本章提供了各种排除 RIP 常见故障的方法，主要包括以下内容：

- 排除 RIP 路由安装故障；
- 排除 RIP 路由通告故障；
- 排除 RIP 中的路由汇总故障；
- 解决 RIP 路由重分发问题；
- 解决与 RIP 有关的按需拨号（DDR）路由问题；
- 排除与 RIP 有关的路由翻动问题。

- **第 4 章，“理解 EIGRP 路由协议”**——本章重点关注排除 EIGRP 故障所要必备的相关基本概念，主要包括以下内容：

- 度量；
- EIGRP 邻居关系；
- 扩散更新算法 DUAL；
- DUAL 有限状态机；
- EIGRP 可靠传输协议；
- EIGRP 数据包格式；
- EIGRP 的运作方式；
- EIGRP 路由汇总；
- EIGRP 查询过程；
- EIGRP 与默认路由；
- 运行 EIGRP 时的非等价负载均衡。

• **第 5 章，“排除 EIGRP 故障”**——本章提供了各种排除 EIGRP 常见故障的方法，主要包括以下内容：

- 排除 EIGRP 邻居关系建立故障；
- 排除 EIGRP 路由通告故障；
- 排除 EIGRP 路由安装故障；
- 排除 EIGRP 路由翻动故障；
- 排除 EIGRP 路由汇总故障；
- 排除与 EIGRP 有关的路由重分发故障；
- 排除与 EIGRP 有关的拨号备份故障；
- EIGRP 错误消息。

• **第 6 章，“理解 OSPF 路由协议”**——本章重点关注排除 OSPF 故障所要必备的相关基本概念，主要包括以下内容：

- OSPF 数据包；
- OSPF LSA；
- OSPF 区域；
- OSPF 介质类型；
- OSPF 邻接状态。

• **第 7 章，“排除 OSPF 故障”**——本章提供了各种排除 OSPF 常见故障的方法，主要包括以下内容：

- 排除 OSPF 邻居关系建立故障；
- 排除 OSPF 路由通告故障；
- 排除 OSPF 路由安装故障；
- 排除与 OSPF 有关的路由重分发故障；
- 排除 OSPF 路由汇总故障；
- 排除 CPUHOG 故障；

- 排除与 OSPF 有关的按需拨号路由 (DDR) 故障;
- 排除 SPF 计算及路由翻动故障;
- 常见 OSPF 错误消息。
- **第 8 章, “理解 IS-IS 路由协议”**——本章重点关注排除 IS-IS 故障所要必备的相关基本概念, 主要包括以下内容:
 - IS-IS 路由协议入门;
 - IS-IS 路由协议概念;
 - IS-IS 链路状态数据库;
 - 配置 IS-IS 路由协议, 路由 IP 数据包。
- **第 9 章, “排除 IS-IS 故障”**——本章提供了各种排除 IS-IS 常见故障的方法, 主要包括以下内容:
 - 排除 IS-IS 邻接关系建立故障;
 - 排除 IS-IS 路由更新故障;
 - 路由器生成的与 IS-IS 路由协议有关的错误消息;
 - CLNS ping 及 traceroute 命令;
 - 案例分析: ISDN 配置故障。
- **第 10 章, “理解 PIM 协议”**——本章重点关注排除 PIM 故障所要必备的相关基本概念, 主要包括以下内容:
 - IGMPv1/v2 及逆向路径转发 (RPF) 的基本原理;
 - PIM 密集模式;
 - PIM 稀疏模式;
 - IGMP 和 PIM 数据包的格式。
- **第 11 章, “排除 PIM 故障”**——本章提供了各种排除 PIM 常见故障的方法, 主要包括以下内容:
 - 排除 IGMP 加入故障;
 - 排除 PIM 密集模式故障;
 - 排除 PIM 稀疏模式故障。
- **第 12 章, “理解 BGP-4 路由协议”**——本章重点关注排除 BGP-4 故障所要必备的相关基本概念, 主要包括以下内容:
 - BGP-4 路由协议的规范及功能;
 - 邻居关系;
 - 通告路由;
 - 同步;
 - 接收路由;
 - 策略控制;
 - 组建高可扩展性的 IBGP 网络 (BGP 路由反射器及 BGP 联盟);

——最优路径计算。

• **第 13 章，“排除 BGP 故障”**——本章提供了各种排除 BGP 常见故障的方法，主要包括以下内容：

- 排除 BGP 邻居关系建立故障；
- 排除 BGP 路由通告/生成及接收故障；
- 排除 BGP 路由未“进驻”路由表故障；
- 排除与 BGP 路由反射器部署有关的故障；
- 排除因 BGP 路由策略所导致的流量出站故障；
- 排除小型 BGP 网络中的流量负载均衡故障；
- 排除因 BGP 路由策略所导致的流量进站故障；
- 排除 BGP 最优路由计算故障；
- 排除 BGP 路由过滤故障。

书中所用图标

