



国际信息工程先进技术译丛

WILEY

IPv6部署和管理

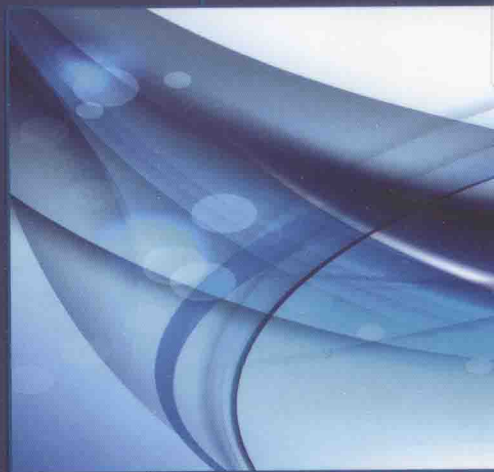
IPv6 Deployment and Management

[美] Michael Dooley 著
Timothy Rooney

董守玲 王昊翔 胡金龙 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

IPv6 部署和管理

[美] Michael Dooley 著
Timothy Rooney

董守玲 王昊翔 胡金龙 等译



机械工业出版社

Copyright © 2013 by The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled < IPv6 Deployment and Management >, ISBN < 978-1-118-38720-7 >, by < Michael Dooley, Timothy Rooney >, Published by John Wiley & Sons, Ltd. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由 Wiley 授权机械工业出版社出版, 未经出版者书面允许, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。版权所有, 翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记图字: 01-2013-5561 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

IPv6 部署和管理/(美)杜里 (Dooley, M.), (美)鲁尼 (Rooney, T.) 著; 董守玲等译. —北京: 机械工业出版社, 2015. 1

(国际信息工程先进技术译丛)

书名原文: IPv6 deployment and management

ISBN 978-7-111-48725-8

I. ①I… II. ①杜…②鲁…③董… III. ①计算机网络 - 通信协议 IV. ①TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 282690 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 刘星宁 责任编辑: 刘星宁

版式设计: 霍永明 责任校对: 崔兴娜

责任印制: 乔宇

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 12.5 印张 · 227 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-48725-8

定价: 58.00 元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

本书首先阐述了为什么要发展和部署 IPv6，然后详细介绍了 IPv6 协议，以及 IPv4 与 IPv6 互通的技术。本书还详细描述了如何评估 IPv6 准备情况，如何进行 IPv6 地址规划，如何进行 IPv6 安全规划和管理规划，如何部署和管理 IPv6 网络，如何管理 IPv4/IPv6 网络等相关的策略和技术。最后，本书对 IPv6 和因特网进行了展望。

本书适合作为相关专业的工程技术人员学习下一代计算机网络协议 IPv6 概念和相关部署和管理技术的参考书，也可以作为计算机专业、网络工程专业和通信专业本科高年级的教材。

译者序

过去的二十多年里, IPv4 作为因特网的标准取得了辉煌的业绩。但随着物联网及大数据时代的到来, IPv4 因特网的缺陷已变得越加明显, 如地址空间的不足、端到端通信质量得不到保障、网络配置管理困难等。相比于 IPv4, IPv6 具有如下优越性: 良好的可扩展性、可靠的安全性、多样化的服务质量、易管理性、移动性; 另外, 还能很好地支持多播业务, 提高网络的整体吞吐量。使用 IPv6 后, 大量智能终端将有机会独立连接到因特网上, 人们将生活在一个万物互联的世界中。近年来, 越来越多的国家在 IPv6 研发中投入了巨大的精力和时间并进行部署和普及。我国在基于 IPv6 的下一代互联网方面开展了多项研究、试验和示范工程。2008 年 12 月 3 日, 历时五年的中国下一代互联网 (China Next Generation Internet, CNGI) 项目取得阶段性的成果, 建成并稳定运行全球第一个也是规模最大的纯 IPv6 互联网主干网。2011 年 12 月国务院常务会议指出我国已在基于 IPv6 的下一代互联网方面取得了阶段性进展, 后续规模化商用和发展已具备良好基础, 会议明确了今后一个时期我国发展下一代互联网的路线图和主要目标。

随着商用部署的持续推进, 网络工程师、管理者和 IT 工作者迫切需要了解和学习 IPv6 基本概念并掌握 IPv6 部署与管理技术。本书《IPv6 部署和管理》正是为这样的需求而准备的。本书是一本系统、先进、实用的 IPv6 网络部署和管理的参考书, 是从事的计算机网络技术研究、应用、开发和管理的网络工程师、管理者和 IT 工作者的良师益友。

本书包括 10 章和 1 个附录。第 1 章阐述了为什么要发展 IPv6, 并从商业前景的角度阐明了各种组织团体应该部署 IPv6 的理由。第 2 章详细介绍了 IPv6 的协议特点及结构等基本概念。第 3 章详细介绍 IPv4/IPv6 共存技术, 包括双栈、隧道、翻译技术等相关的技术。第 4 章详细介绍了如何评估现有网络的状况, 升级或部署 IPv6 需要做什么准备。第 5 章详细介绍了制定 IPv6 地址规划的机制和技术。第 6 章从安全的视角探讨了 IPv4 和 IPv6 之间的差异, 并突出了在更新安全策略时需要考虑的一些关键点。第 7 章介绍了网络管理的模型、范围、管理协议和管理功能。第 8 章介绍了 IPv6 部署管理过程。第 9 章介绍了管理 IPv4/IPv6 网络的策略和技术。第 10 章对 IPv6 和因特网进行了展望。附录 1 是 IPv6 准备情况评估表的模板。

董守玲、王昊翔、胡金龙组织并参加了本书的翻译和审校工作, 参加翻

译的还有缪如倩、苏孟辉、张浩威、张铃启、陈伟健、滕菲、陈泽邦、刘荣波。

限于译者的水平，译文中难免有疏漏和错误，欢迎批评指正。

译者

2014 年于华南理工大学

原 书 前 言

从具体阐述 IPv6 数据报结构的 RFC 2460 文章发表到现在已经有 14 年 (2013) 了。由 Setve Deering 和 Bob Hinden 撰写的这篇文章描绘了从 1990 年初开始长达 8 年之久的关于“如何让 32 位的 IP 地址空间得到扩展”的辩论。在当时,对于 IPng (下一代 IP) 有四个建议。我不打算将这些建议一一罗列出来,只想说明它们设定的功能差异巨大。曾经还有另外一条建议说接受 OSI 的无连接网络协议 (Connectionless Networking Protocol, CLNP), 这也引起了当时在因特网工程任务组 (Internet Engineering Task Force, IETF) 工作的那些一腔热血的工程师们的愤怒。这条建议也成为当时因特网工程任务组每次议程的首要议题。

在这些辩论之后,当时 IPng 工作组的联合主席, Deering 和 Hinden, 于 1998 年记录下全部的辩论成果,然后将这些成果提交到互联网工程指导小组 (Internet Engineering Steering Group, IESG), 由 RFC 编辑来发布。当时我们许多人都期待着会立刻有人努力来实现这一协议。在网络快速发展的年代里,一直有着一个特殊的忧虑,那就是网络地址的使用率过快增长。新的互联网公司就像雨后春笋一样大量地冒了出来。在 IPng 辩论的同时,也进行着控制 IPv4 地址使用的努力,如重新诠释地址结构的每一位等的做法也在如火如荼地进行着。被称为无类域间路由 (Classless Interdomain Routing, CIDR) 的算法,通过允许使用任意的位数来区别网络号和主机号,让 IP 地址使用得更加充分和高效率。而且,自治系统 (Autonomous System, As) 的概念也被引入,它结合相关指标来阐明边界位置。另外,还改进了边界网关协议 (Board Gateway Protocol, BGP), 考虑用掩码来标识地址格式中网络号和主机号的扩展。再加上各地区的因特网登记处使用的异常严格的规则,IPv4 地址空间的消耗速度从根本上减缓了。IPv4 地址规划得如此好,以至于实现 IPv6 的压力慢慢地消散了。

网络地址转换 (Network Address Translation, NAT) 功能也被采用了。这个功能允许多部设备使用私有的网络地址,并且共同使用同一公有地址空间。在一个局域网中, NAT 技术通过使用端口号来映射公网地址与各个设备使用的私网地址。这个实践的成功吸引了电缆和无线通信设备的制造商,因为它们现在可以最大限度地让更多的设备来共享一个 IP 地址。NAT 技术大大增长了互联网服务提供商的因特网服务的注册用户数。

这些多样的措施延续了 IPv4 地址的使用,直到 2011 年 2 月互联网地址编码

分配机构 (Internet Assigned Numbers Authority, IANA) 在互联网名称和数字地址分配机构 (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers, ICANN) 的帮助下召开会议, 宣布该组织已经没有可分配的 IPv4 地址。各地区的因特网登记处 (ARIN, LACNIC, RIPE-NCC, AFRINIC, APNIC) 依然还有地址可供分配。但是不久, 在 2011 年的 4 月 APNIC 的 IPv4 地址就耗尽了; 2012 年 9 月, RIPE-NCC 也宣布它的 IPv4 地址已经耗尽了。一个以 IPv4 地址空间的交易市场已经形成, 可是没能满足真正的需求。

物联网已经距离我们越来越近了。移动设备使用 LTE 技术传输数据, 这需要端到端的通信能力。同样的, 对于机顶盒, 传感器设备, 配备互联网功能的汽车, 不计其数的家用和办公电器, 还有那些可以嵌入在我们身体中的设备, 也是这样的。解决这个问题唯一明智的方法就是在兼容 IPv4 地址的同时, 实现 IPv6 地址。我们不能简单地“抛出一个开关”就能实现网上的所有设备从 IPv4 寻址到 IPv6 寻址的转换。这个过渡需要多年的时间。

这个长期的过渡使我们需要具备非常缜密的设计、细致的控制实现及周全的管理系统, 从而能够同时处理当前网络和各种设备中的 IPv4 和 IPv6。我们不能为了简单化而把地址空间全部设计成单纯 IPv4 或者单纯 IPv6 的“孤岛”。可移动或便携式的设备会经常遇到 IPv4 和 IPv6 混合的环境。这对于那些缺少 IPv4 地址空间的因特网区域来说, 确实是个不错的机会来使用纯的 IPv6 地址。复杂的运行环境不仅会包含经过 NAT 的 IPv4 地址, 而且也含有 IPv6 的端到端传输。所以, 网络工程师的书架 (或者在笔记本、ipad、手机、云端、数码阅读器) 上需要有一本由 Michale Dooley 和 Timothy Rooney 写的本书也就不足为奇了。

配置和网络管理是很难的, 对于一个混合了两种 IP 数据报结构的环境, 这类的操作更加困难。即便是一个普通的故障, 如光纤被切断等, 都会使两个协议产生错误信息。网络管理系统在过滤、关联、分类不同的错误信息和状态或者来自一个混合 IP 寻址环境的警告信息等功能上, 都需要更加智能。IPv6 协议中较大数据报头部会导致分片, 或者使为了避免分片阻塞而要发现最小数据报的过程复杂化。这里只有很少的问题需要回答。任何体系结构的系统只要考虑使用双协议栈的环境, 都会发现本书是您的得力助手, 是您所需建议的源泉。

现在开始这些实现是非常及时的。在这个十年的剩余几年中, 我们会看到因特网会在许多方面产生巨大的变化和扩展, 这些变化不仅表现在各个系统中相关设备的大量增长。

某些因特网服务提供商 (Internet Service Provider, ISP) 以“用户没有要求 IPv6”为借口而延缓了 IPv6 的实现。在我看来, 用户不需要知道任何关于 IPv6 的知识。用户们都有一个合情合理的期望, 认为他们的 ISP 会自动地实现双协议

栈，而不用用户自己去问。在 IPv4 地址全部耗尽之前，尽管使用了 NAT 技术，但不尽快实现双协议栈都是不负责任的做法。我们必须尽快地完成这个过渡期，实现全连接的 IPv6 网络。这并不意味着我们要抛弃 IPv4 的使用，只是我们需要 IPv6 网络能像现在 IPv4 做到的一样，而且我们现在就需要。

Vint Cerf

致 谢

我们要感谢 Vint Cerf 为这本书写了前言；我们感到很荣幸。我们也要感谢我们系列丛书的主编、在 IEEE 出版社工作的 Thomas Plevyak，当然还有 Michael Vincent 和 Jeff Schmidt，他们花了许多时间审阅本书，并且提供了许多非常有用的反馈和意见。

Michael：我也要谢谢我的家人，我的妻子 Suzanne，我的儿子小 Michale，我的女儿 Kelly，谢谢他们在我撰写这本书期间给予我深深的爱和坚定的支持，谢谢他们让我能专心致志地写书而不被分散注意力。同时我也不能忘记我的狗 Bailey，它总是来推我宠它一下，让我休息片刻。我要谢谢我的朋友和同事，我很高兴和世界上最好、最聪明的人一起工作，真心祝福他们。我要谢谢（不以特定的顺序）Karen Pell、Steve Thompson、Greg Rabil、John Ramkowsky、Alex Drescher、Brian Hart（又称 Billy Bond）、Bob Lieber、David Cross、Al Hilton。我要感谢原先由 Quadrotek 领导的团队，早年的时候我有幸能和他们一起工作而定义和创造了 IP 地址管理的市场，特别是 Arun Kapur、Keith Larson、Leah Kelly。最后特别感谢 Joe D'Andere，他的领导能力对我的生活和事业都有着深远地影响。

Timothy：我也要谢谢我的家人，我的妻子 LeeAnn，我的两个女儿 Maeve 和 Tess，谢谢她们在我写这本书的期间给予我深深的爱和坚定的支持。我要感谢和我一起工作的同事们，同他们工作非常愉快，从他们的身上我学到了许多通信技术和 IPv6 的相关知识。他们分别是，Greg Rabil、John Ramkowsky、Andy D'Ambrosio、Alex Drecher、David Cross、Marco Mecarelli、Brian Hart、Frank Jennings。还要谢谢我在 BT Diamond IP、INS、Lucent 工作的时候的同事们。我在网络领域研究的形成期是在美国贝尔实验室，非常感谢 John Marciszewski、Anthony Longhitano、Sampath Ramaswami、Maryclaire Brescia、Krishna Murti、Gaston Arredondo、Robert Schoenweisner、Tom Walker、Ray Pennotti，特别感谢 Thomas Chu。

目 录

译者序

原书前言

致谢

第 1 章 IPv6 实施的动力	1
1.1 因特网：一个成功的故事	1
1.1.1 供应方面的问题	3
1.1.2 在十字路口的因特网	6
1.1.3 使用哪一种因特网	7
1.2 新兴的应用	7
1.3 IPv6 商业案例	10
第 2 章 IPv6 概述	13
2.1 IPv6 主要特性	13
2.2 IPv6 报头	14
2.2.1 IPv6 扩展报头	15
2.3 IPv6 寻址	16
2.3.1 地址符号	17
2.3.2 地址结构	19
2.3.3 IPv6 地址分配	19
2.3.4 IPv6 的因特网控制报文协议	26
2.3.5 IPv6 Ping 命令	29
2.3.6 多播侦听发现	29
2.3.7 多播路由发现	30
2.3.8 邻节点发现协议	30
2.3.9 安全邻节点发现	32
2.3.10 逆向邻节点发现	32
2.3.11 路由器重编号	32
2.3.12 节点信息查询	33
2.4 IPv6 地址自动配置	34
2.4.1 改进的 EUI-64 接口标识符	34

2.4.2 重复地址检测	35
2.5 移动 IPv6	36
2.6 保留子网任播地址	38
2.7 要求的主机 IPv6 地址	39
2.8 IPv6 路由	40
第3章 IPv4/IPv6 共存技术	41
3.1 双栈	41
3.1.1 双栈的实施	42
3.1.2 使用哪种地址	43
3.1.3 探究 DNS	45
3.1.4 探究 DHCP	46
3.2 隧道方法	46
3.2.1 IPv4 网络上 IPv6 数据报的隧道方案	47
3.2.2 隧道类型	49
3.2.3 IPv6 网络上的 IPv4 数据报的隧道方案	59
3.2.4 隧道技术总结	60
3.3 翻译策略	61
3.3.1 IP/ICMP 翻译	62
3.3.2 主机泵	68
3.3.3 IPv6/IPv4 的网络地址翻译	70
3.3.4 其他翻译技术	72
3.4 IPv6 的应用支持	74
3.5 服务提供商的 IPv4/IPv6 共存	74
3.5.1 参考架构	75
3.5.2 部署方法概述	76
3.5.3 路由基础设施的部署方法	77
3.5.4 部署方法的比较	83
3.6 寻址与 DNS 的考虑	84
第4章 IPv6 准备情况评估	86
4.1 制订一个适当的计划	86
4.2 IP 网络库存	88
4.2.1 IPv6 准备情况	88
4.2.2 发现	88
4.2.3 IPv6 评估	89
4.3 IPv6 待办事件清单	100

4.4 IPv6 准备情况评估总结	101
第5章 IPv6 地址规划	102
5.1 因特网注册管理机构	102
5.1.1 RIR 地址分配策略	104
5.1.2 地址分配效率	104
5.2 IPv6 地址规划	105
5.3 IPv6 地址分配方法	106
5.3.1 最佳分配方法	106
5.3.2 稀疏分配方法	109
5.3.3 随机分配方法	110
5.3.4 DHCPv6 前缀代理	111
5.3.5 唯一本地地址空间	111
5.4 定义你自己的 IPv6 地址计划	111
5.5 多重连接与 IP 地址空间	115
5.6 IP 地址规划总结	117
第6章 IPv6 安全计划	119
6.1 好消息: IP 依然是 IP	119
6.2 坏消息: IPv6 不是 IPv4	120
6.3 更新你的安全策略	121
6.4 网络边界的监控和入侵防护	121
6.4.1 IPv6 地址过滤	121
6.4.2 ICMPv6 消息	122
6.5 扩展报头	124
6.6 内部网络保护	124
6.6.1 网络侦查	125
6.6.2 网络访问	125
6.6.3 DHCPv6	126
6.6.4 DNS	126
6.6.5 任播寻址	127
6.6.6 内部网络过滤	127
6.7 网络设备的安全性考量	129
6.8 移动 IPv6 安全	129
6.8.1 移动扩展报头	130
6.8.2 移动 IPv6 漏洞	134
6.9 IPv4/IPv6 共存措施	135

6.9.1 安全隧道实施	136
6.9.2 安全转换实施	137
6.10 小结	137
第7章 IPv6 网络的管理计划	139
7.1 管理模型	139
7.2 网络管理的范围	140
7.2.1 网络库存	140
7.2.2 IP 地址库存	141
7.2.3 管理网络	141
7.3 简单网络管理协议	141
7.3.1 配置管理	142
7.3.2 故障管理	143
7.3.3 计费管理	144
7.3.4 性能管理	144
7.4 方法和过程	144
7.5 小结	145
第8章 部署管理	146
8.1 整体计划	146
8.2 项目管理	148
8.3 测试部署	149
8.4 生产管理	150
第9章 管理 IPv4/IPv6 网络	151
9.1 常见的网络管理任务	151
9.2 配置管理	151
9.2.1 网络中与配置相关的任务	151
9.2.2 添加新设备	153
9.2.3 删除任务	155
9.2.4 地址重编或移动任务	156
9.2.5 块/子网分割	159
9.2.6 块/子网连接	159
9.2.7 DHCPv6 服务器配置	160
9.2.8 DNS 配置	161
9.2.9 前缀重编	162
9.3 故障管理	163

9.3.1 故障监测	163
9.3.2 故障排除和故障解析	164
9.4 计费管理	164
9.4.1 库存保证	164
9.4.2 地址回收	167
9.5 性能管理	168
9.5.1 服务监控	168
9.5.2 应用性能管理	168
9.5.3 审计和报告	169
9.6 安全管理	169
9.7 灾难恢复/业务连续性	170
第10章 IPv6 和因特网展望	171
10.1 促成技术的因素	171
10.2 因特网的阴暗面	172
10.3 因特网的光明未来	173
10.3.1 更加智能地生活	173
10.3.2 保持踪迹	174
10.3.3 可扩展的医疗保健	174
10.3.4 公共安全	174
10.3.5 未来的信用卡	174
10.3.6 消费应用	174
10.4 小结	175
附录 IPv6 准备情况评估模板修订1	176
A.1 IP 地址分配	176
A.2 流程与人员	176
参考文献	179
IEEE 出版社系列之网络管理图书	184

第 1 章 IPv6 实施的动力

1.1 因特网：一个成功的故事

因特网 (Internet) 已经产生很久了, 从 20 世纪 60 年代美国国防部的一个有抗毁性的互相连接的网络, 已经演化成一个全球性的通信方式。Tim Berners-Lee 发明了万维网 (WWW, Word Wide Web), 定义了超文本格式, 从而连接了不同的信息, 并且这些信息可以方便地由浏览器获取。万维网加上那个简单的只需通过点击来进行的用户交互手段, 让因特网从政府和科学家的实验室进入了寻常百姓家。Email 是第二重要的因特网应用, 它也促进了 20 世纪 90 年代中期对因特网服务的广泛应用。今天的因特网用户会发现这些丰富的信息和各式各样不同的应用程序在他们的生活中不可或缺。假如著名的网络应用, 像 Facebook、Youtube、Twitter、Google、Blogger, 网购及新闻网站, 甚至那些出色的电子邮箱服务突然消失了, 大多数人会变得无所适从。

但是目前, 因特网中丰富的信息和大量的应用程序也不是世界各地都能方便地访问的。图 1-1 所示的世界各地因特网渗透率, 这是因特网世界统计 (Internet World Stats) 网站的统计数据, 描绘了在 2012 年中期不同地区的因特网的渗透率, 它是由当地因特网用户量占总人口比例来衡量的。只有 1/3 强的世界人口可以使用因特网。因特网渗透率在北美是最高的, 超过 78%; 欧洲次之, 约 63%; 在亚洲人口中, 渗透率只有约 28%。

再从另一个角度来看相同的数据, 图 1-2 所示为世界各地因特网用户的比例。对比图 1-1 和图 1-2 所示, 我们可以注意到, 虽然在亚洲的因特网渗透率是 28%, 但是亚洲的因特网用户是最多的, 有十亿之多, 占世界因特网用户的 45%。Internet World Stats 网站估计世界因特网用户达到 24 亿。

因为世界因特网用户渗透率只有 34%, 看起来似乎还有很大的增长空间; 而且, 由于存在每个人需要多台不同设备的可能性, 这个会产生对 IP 地址的大量需求。但是, 什么样的环境会促进这样子的增长呢? 最近一个世界银行的调查报告显示: 在中低收入国家, 每 10% 的互联网渗透率的增长对应 1.12% 的国家的平均经济增长 (以国内生产总值衡量)^[2]。另一方面, 10% 的宽带渗透率平均带来 1.38% 的 GDP 增长。报告还赞扬了宽带建设带来的社会经济福利, 包括增加就业、增加创业机会、提供社会联系及提供公共基础信息服务。即使有些

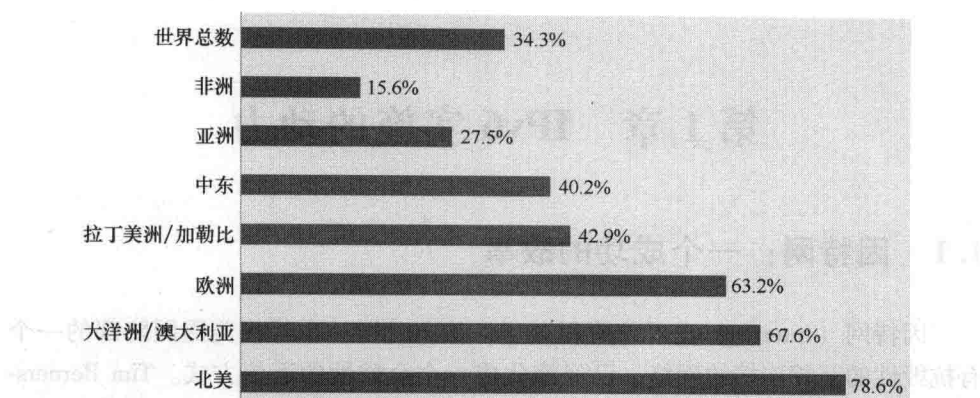
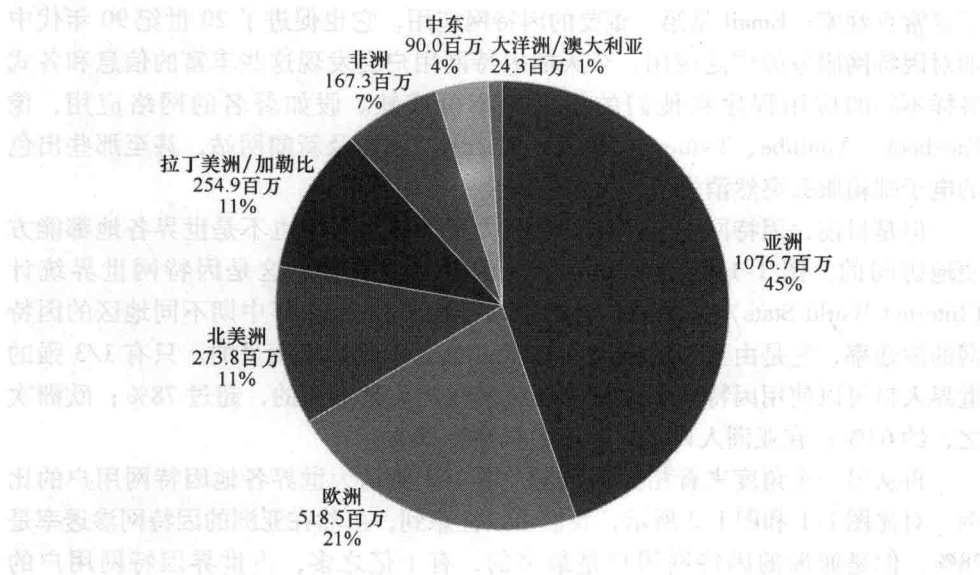
图 1-1 世界各地因特网渗透率^[1]

图 1-2 世界各地因特网用户的比例

国家会限制对于一些内容或应用的使用，经济和因特网的增长关系还是很难被忽视的。

在过去的十年显示强劲的增长趋势。图 1-3 给出了因特网用户和世界渗透率的增长情况。这看起来就是呈比例增长。表 1-1 给出了世界各地因特网用户增长情况，其中包括 2000 ~ 2011 年各地区的年复合增长率 (Compound Annual Growth Rate, CAGR)，世界平均复合年增长率是 18%。