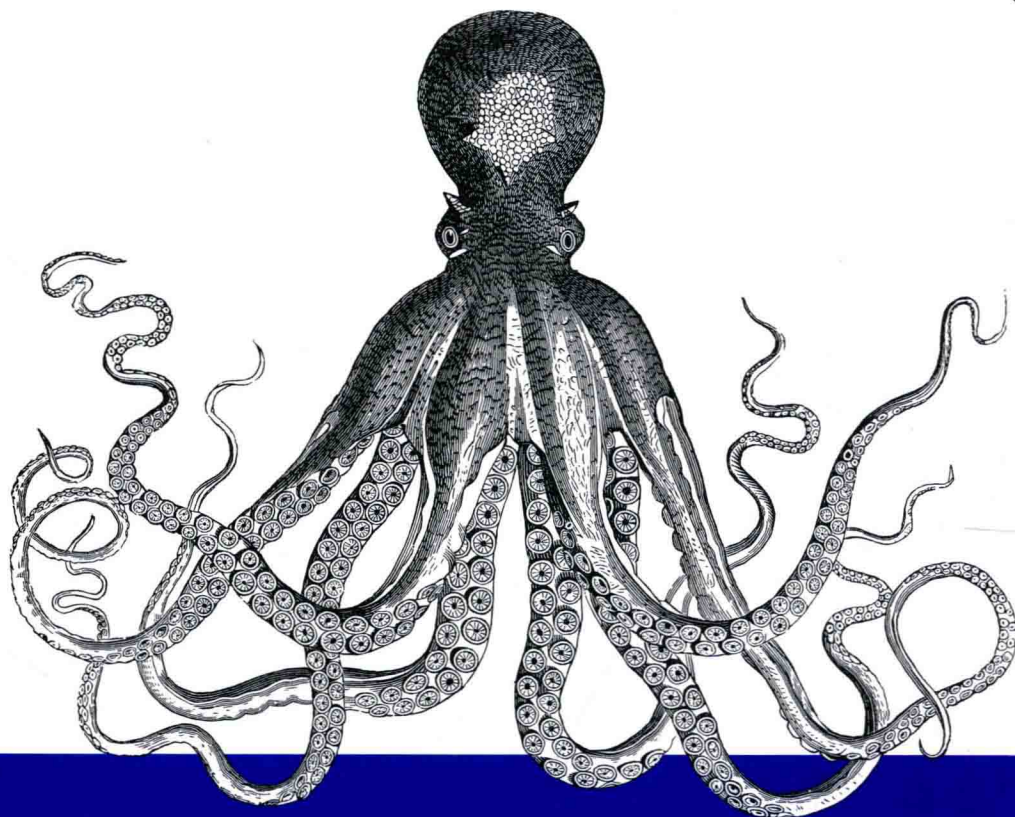


O'REILLY®

TURING

图灵计算机科学丛书

第2版



# 以太网权威指南

Ethernet: The Definitive Guide

[美] Charles E. Spurgeon Joann Zimmerman 著  
蔡仁君 译

 中国工信出版集团

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

图灵计算机科学丛书

# 以太网权威指南（第2版）

Ethernet: The Definitive Guide

Second Edition

[美] Charles E. Spurgeon Joann Zimmerman 著  
蔡仁君 译



O'REILLY®

Beijing • Cambridge • Farnham • Köln • Sebastopol • Tokyo

O'Reilly Media, Inc. 授权人民邮电出版社出版

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

以太网权威指南：第2版 / (美) 司布真  
(Spurgeon, C. E.), (美) 齐默尔曼 (Zimmerman, J.) 著 ;  
蔡仁君译. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2016. 1  
(图灵计算机科学丛书)  
ISBN 978-7-115-40930-0

I. ①以… II. ①司… ②齐… ③蔡… III. ①以太网  
网络—指南 IV. ①TP393.11-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第267583号

## 内 容 提 要

本书由以太网标准制定参与者、以太网配置方面的顶级专家执笔,是一本介绍以太网构建与维护的全面指南。内容从以太网基础知识介绍开始,之后重点介绍以太网介质系统的构建,详细讲解如何使用转换器和集线器搭建以太网,并探讨以太网的性能和故障诊断等内容。

本书适合网络管理人员阅读,也适合作培训教材。

- 
- ◆ 著 [美] Charles E. Spurgeon Joann Zimmerman  
译 蔡仁君  
责任编辑 岳新欣  
执行编辑 张 曼  
责任印制 杨林杰
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京鑫正大印刷有限公司印刷
  - ◆ 开本: 800 × 1000 1/16  
印张: 22.5  
字数: 534千字 2016年1月第1版  
印数: 1-4 000册 2016年1月北京第1次印刷  
著作权合同登记号 图字: 01-2014-6470号
- 

定价: 89.00元

读者服务热线: (010)51095186转600 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

站在巨人的肩上  
**Standing on Shoulders of Giants**



[iTuring.cn](http://iTuring.cn)

# O'Reilly Media, Inc.介绍

O'Reilly Media 通过图书、杂志、在线服务、调查研究和会议等方式传播创新知识。自 1978 年开始，O'Reilly 一直都是前沿发展的见证者和推动者。超级极客们正在开创着未来，而我们关注真正重要的技术趋势——通过放大那些“细微的信号”来刺激社会对新科技的应用。作为技术社区中活跃的参与者，O'Reilly 的发展充满了对创新的倡导、创造和发扬光大。

O'Reilly 为软件开发人员带来革命性的“动物书”；创建第一个商业网站（GNN）；组织了影响深远的开放源代码峰会，以至于开源软件运动以此命名；创立了 Make 杂志，从而成为 DIY 革命的主要先锋；公司一如既往地通过多种形式缔结信息与人的纽带。O'Reilly 的会议和峰会集聚了众多超级极客和高瞻远瞩的商业领袖，共同描绘出开创新产业的革命性思想。作为技术人士获取信息的选择，O'Reilly 现在还将先锋专家的知识传递给普通的计算机用户。无论是通过书籍出版、在线服务或者面授课程，每一项 O'Reilly 的产品都反映了公司不可动摇的理念——信息是激发创新的力量。

## 业界评论

“O'Reilly Radar 博客有口皆碑。”

——Wired

“O'Reilly 凭借一系列（真希望当初我也想到了）非凡想法建立了数百万美元的业务。”

——Business 2.0

“O'Reilly Conference 是聚集关键思想领袖的绝对典范。”

——CRN

“一本 O'Reilly 的书就代表一个有用、有前途、需要学习的主题。”

——Irish Times

“Tim 是位特立独行的商人，他不光放眼于最长远、最广阔视野，并且切实地按照 Yogi Berra 的建议去做了：‘如果你在路上遇到岔路口，走小路（岔路）。’回顾过去，Tim 似乎每一次都选择了小路，而且有几次都是一闪即逝的机会，尽管大路也不错。”

——Linux Journal

# 前言

本书是关于当下最流行的以太网网络技术的。只要花费较低的成本，以太网技术就能将计算机连成一个灵活的网络。以太网在各式各样的设备上被采用。正是因为其良好的通用性、较低的成本和很高的灵活性，以太网才得以越来越流行。

以太网标准已经超过了 3700 页，覆盖了多种不同环境下使用的以太网技术。以太网用来建立家庭、办公室和校园网络，同时也用在组建跨多个城市和国家的广域网中。目前，还有专门为邻里之间联络而设计的邻域网系统以及为汽车内部多设备连接设定的以太网系统。

本书的目的是介绍与目前应用最广泛的以太网技术相关的全面、实用的信息。书中详细介绍了家庭、办公室、校园网中常用的各类以太网，以及在数据中心和服务器机房中使用的以太网系统。这些包括了各种被广泛使用的以太网介质系统：10 Mbit/s 以太网、100 Mbit/s 快速以太网、1000 Mbit/s 以太网以及 10 G、40 G 和 100 G 以太网。我们还介绍了全双工以太网、自动协商以太网、以太网供电、节能以太网、结构化布线系统、交换机以太网网络设计、网络管理、网络故障诊断解决技术等。

为了提供尽可能准确的信息，在撰写这本书时，我们参照了整套官方以太网标准。从 20 世纪 80 年代起，我们就开始从事和以太网技术相关的工作，本书这一版本包含了许多来之不易的网络设计和运行经验。

## 以太网无处不在

以太网技术是目前使用最广泛的网络技术。以太网成功的因素很多，包括价格、可扩展性、可靠性以及唾手可得的管理工具。

## 价格

以太网新性能发展迅速，同时设备价格也在快速下降。以太网技术的广泛使用造就了一个竞争激烈的巨大的市场。激烈的竞争驱使着网络组件价格不断下降。市场上有各式各样、价格极具竞争力的以太网组件可供选择，让消费者从中受益。

## 可扩展性

第一个全行业的以太网标准公布于 30 多年前，即 1980 年。这个标准定义了一个 10 Mbit/s 的传输系统。在当时，这个速度已经很快了。1995 年公布的 100 Mbit/s 快速以太网速度是原来的 10 倍。继 100 Mbit/s 快速以太网之后，1999 年又开发了使用双绞线的千兆以太网。自动支持 10 Mbit/s、100 Mbit/s、1000 Mbit/s 双绞线介质系统运行的网络接口广泛普及，使得高质量的网络很容易实现。

为了尽可能利用可用带宽，各种应用也在迅速发展。为满足日益增长的网络需求，2002 年制定了 10 G 以太网标准，40 G 和 100 G 以太网标准也在 2010 年相继出台。以太网性能的发展，使得高速骨干网系统的实现以及与高性能服务器的信息交互成为可能。

台式机可按需选择使用 10 Mbit/s、100 Mbit/s 或者 1000 Mbit/s 速度的以太网链接。网络路由器和交换机可以使用 10 Gbit/s、40 Gbit/s 或者 100 Gbit/s 骨干网络连接，数据中心则可以以 10、40 甚至 100 Gbit/s 的速度连接到高性能服务器。

## 可靠性

以太网简单、稳健，每天全世界的站点都通过它可靠地交付数据。1987 年，引入了使用双绞线作为介质的以太网，使得以太网信号可以通过结构化布线系统传输。

结构化布线为大楼提供的数据传输系统，效仿了最初应用于电话系统的高可靠性布线体系。这使得以太网系统可以运行在一个易管理、高度可靠、基于标准的布线系统上。

## 广泛普及的管理工具

以太网的广泛采用为它带来了如此众多的管理和故障排查工具。简单网络管理协议 (SNMP) 等基于标准的管理工具，使得网络管理员可以从管理中心追踪整个校园网络设备的状况。嵌入以太网交换机和计算机接口中的管理工具，可以提供强大的网络监管和故障排查能力。

## 可靠性设计

这本书一个很重要的目的是帮助读者设计并实现可靠的网络，因为网络的可靠性对于使用者以及机构来说至关重要。使用因特网在联网的计算机之间分享信息是当今世界的一个重要特征。如果网络瘫痪，所有事情都会陷入停滞。本书将会告诉你如何设计可靠的网络，如何监控并保证它可靠运行，以及如果网络出现故障如何修复等内容。

今天，各种不同的以太网设备和连线系统提供了极大的灵活性，使得建立适应任何环境的以太网成为可能。然而，灵活性需要付出代价。各种不同的以太网设备有各自的组件以及配置规则，使得网络设计者的工作变得复杂。设计并实现一个可靠的以太网系统需要了解所有的数据位和数据块如何拼接在一起并且遵循介质系统官方配置指南。为了帮助读者完成这样的任务，本书为广泛使用的介质系统提供了配置指南。

## 高代价的故障停机时间

因为很多原因，避免网络故障停机十分重要，其中最重要的是因网络故障所付出的成本。只需进行一些快速的粗略计算，就能看出网络故障停机时间要付出多大代价。我们假设 Amalgamated Widget 公司有 1000 名网络用户，他们平均年薪（包括所有福利）是 100 000 美元，那么员工一年的总工资就是 1 亿美元。

我们继续假设公司里的所有人工作时都需要网络，网络一周运行 40 小时，一年大约 50 周，也就是一年 2000 小时的网络运行时间。用员工年薪总数除以网络运行时间，得到网络每小时对应 5 万美元的员工成本。

进一步假设这个设想的公司一年总的网络故障时间占运行总时间的 1%（99% 时间正常工作）。这个正常工作时间看起来已经很不错了，但是 2000 小时的 1% 意味着 20 小时的网络故障。20 小时的网络故障乘以 5 万美元 / 小时，一年因网络故障造成的损失有 100 万美元。

显然，我们的例子有点粗糙。我们忽略了没人在场但网络仍运行着关键服务器时发生网络故障造成的影响。而且，我们假设网络故障会导致所有工作中断，并没有考虑本地故障导致部分网络中断时造成的不同影响，也没有估算有多少工作是不需要网络就可以完成的，这往往会减轻影响。

然而，我们的观点很明确：即使相对很短的网络故障时间都能造成相当大的损失。这就是为什么值得投入额外的时间、精力、金钱来设计一个更加可靠的网络的原因。

## 如何使用本书

本书的目标是为读者提供理解和运行任何一个以太网网络所需的信息。比如，你是一个以太网技术领域的新手，需要了解双绞线以太网系统如何工作，那么可以先阅读第一部分。学完第一部分的各章后，再阅读第二部分介绍双绞线介质的几章，以及第三部分关于双绞线布线知识的章节。如何通过交换机连接双绞线组成网络将在第四部分讲述。

以太网技术领域的专家可将本书用作参考指南，根据需要直接跳到相关章节阅读即可。

## 本书的组织结构

本书的目的是提供一份全面且实用的指南，来描述办公室和大楼中常用的以太网系统、以太网设备和组件。本书侧重实践，尽量不使用理论分析以及专业术语。各章尽量自成一体，同时提供了大量的例子和插图。本书共分为六个部分，方便读者查找需要的具体信息。

每个部分的主要内容如下。

- 第一部分介绍了以太网标准以及以太网的理论和操作。这部分中的各章涵盖了所有以太网介质系统通用的操作，包括以太网帧、介质访问控制系统操作、全双工模式以及自动协商协议。



- 第二部分包括每种以太网介质系统的描述，从第 7 章以太网介质系统信号传输基础为开端。这一章还包括了节能以太网，节能以太网通过优化空闲周期期间的介质信号传输来节能。第 8 章至第 14 章描述了具体的介质系统，包括 10 Mbit/s、100 Mbit/s、1000 Mbit/s 和 10 Gbit/s、40 Gbit/s 和 100 Gbit/s 系统。
- 第三部分介绍了结构化布线系统及其元件，以及以太网网络在建筑物中使用的缆线，讨论了结构化布线标准以及双绞线和光纤的布线细节。
- 第四部分描述了网络设计的基础知识，包括如何使用以太网交换机设计和建立以太网系统。
- 第五部分涵盖了以太网性能以及故障排查。
- 第六部分包含附录和专业术语。

## 声明

虽然这本书的准备工作考虑了各种需要注意的事项，但作者对书中的一些错误或者遗漏，以及任何因使用本书中包含的信息造成的损害不承担任何责任。因为本书可能应用在任何场合，所以我们不能保证本书内容面面俱到、十分精确。

## 本书排版约定

- 楷体  
表示新术语。



这个图标表示注意，是对周围内容的重要解释。



这个图标表示与周围内容相关的警告。

## Safari® Books Online



Safari Books Online (<http://www.safaribooksonline.com>) 是应需而变的数字图书馆。它同时以图书和视频的形式出版世界顶级技术和商务作家的专业作品。

Safari Books Online 是技术专家、软件开发人员、Web 设计师、商务人士和创意人士开展调研、解决问题、学习和认证培训的第一手资料。

对于组织团体、政府机构和个人，Safari Books Online 提供各种产品组合和灵活的定价策略。用户可通过一个功能完备的数据库检索系统访问 O'Reilly Media、Prentice Hall Professional、Addison-Wesley Professional、Microsoft Press、Sams、Que、Peachpit Press、Focal Press、Cisco Press、John Wiley & Sons、Syngress、Morgan Kaufmann、IBM Redbooks、Packt、Adobe Press、FT Press、Apress、Manning、New Riders、McGraw-Hill、Jones & Bartlett、Course Technology 以及其他几十家出版社的上千种图书、培训视频和正式出版之前的书稿。要了解 Safari Books Online 的更多信息，我们网上见。

## 联系我们

请把对本书的评价和问题发给出版社。

美国：

O'Reilly Media, Inc.  
1005 Gravenstein Highway North  
Sebastopol, CA 95472

中国：

北京市西城区西直门南大街 2 号成铭大厦 C 座 807 室 (100035)  
奥莱利技术咨询（北京）有限公司

O'Reilly 的每一本书都有专属网页，你可以在那儿找到本书的相关信息，包括勘误表、示例代码以及其他信息。本书的网站地址是：

[http://oreil.ly/ethernetTDG\\_2e](http://oreil.ly/ethernetTDG_2e)。

对于本书的评论和技术性问题，请发送电子邮件到：

[bookquestions@oreilly.com](mailto:bookquestions@oreilly.com)

要了解更多 O'Reilly 图书、培训课程、会议和新闻的信息，请访问以下网站：

<http://www.oreilly.com>

我们在 Facebook 的地址如下：<http://facebook.com/oreilly>

请关注我们的 Twitter 动态：<http://twitter.com/oreillymedia>

我们的 YouTube 视频地址如下：<http://www.youtube.com/oreillymedia>

## 致谢

这本书的问世得益于很多人的帮助。首先，我们要感谢以太网的发明者 Bob Metcalfe 以及他在 Xerox PARC 的研究员朋友。他们革新了计算机的使用方式，创造了一种强大的基于计算机网络信息分享的新通信技术。我们还要感谢那些为开发以太网系统的新性能和编写以太网技术规范书而自愿贡献宝贵时间参加了数不清的 IEEE 会议的工程师。

作者还要感谢 O'Reilly 的组稿编辑 Meghan Blanchette，以及为本书做出贡献的 O'Reilly 的其他编辑和员工，感谢他们的帮助和对细节的关注。我们还要感谢 Tim O'Reilly，感谢他

创立了这样一个提供各类信息资源并且尊重读者和作者的技术出版社。

最后，我们要感谢 *The Switch Book* 的作者、以太网技术工程师兼开发者、骨灰级以太网技术标准制定参与者 Rich Seifert。非常感谢 Rich 深入评审手稿并帮助完善终稿。当然，本书的任何错误都是作者的责任。

# 目录

前言	xv
----	----

## 第一部分 以太网简介

第 1 章 以太网发展史	2
1.1 以太网的历史	2
1.1.1 Aloha 网络	3
1.1.2 以太网的发明	3
1.2 再造以太网	4
1.2.1 双绞线介质以太网	5
1.2.2 100 Mbit/s 的以太网	5
1.2.3 1000 Mbit/s 的以太网	6
1.2.4 10 Gbit/s、40 Gbit/s 和 100 Gbit/s 的以太网	6
1.2.5 以太网新特性	6
1.3 以太网交换机	7
1.4 以太网的未来	7
第 2 章 IEEE 以太网标准	8
2.1 以太网标准的进化史	8
2.2 以太网介质标准	10
2.2.1 IEEE 补充标准	10
2.2.2 草案标准	11
2.2.3 DIX 标准和 IEEE 标准的区别	11

2.3	IEEE 标准组织	11
2.3.1	OSI 7 层结构	12
2.3.2	OSI 模型中的 IEEE 子层	13
2.4	合规级别	14
2.5	IEEE 介质系统标识符	15
2.5.1	10 Mbit/s 介质系统	15
2.5.2	100 Mbit/s 介质系统	16
2.5.3	1000 Mbit/s 介质系统	17
2.5.4	10 Gbit/s 介质系统	18
2.5.5	40 Gbit/s 介质系统	18
2.5.6	100 Gbit/s 介质系统	18
<b>第 3 章</b>	<b>以太网系统</b>	<b>19</b>
3.1	以太网的四个基本元素	19
3.1.1	以太网帧	20
3.1.2	介质访问控制协议	21
3.1.3	硬件	23
3.2	网络协议和以太网	25
3.2.1	尽力传递	25
3.2.2	网络协议设计	26
3.2.3	协议封装	27
3.2.4	IP 协议和以太网地址	27
3.3	展望	29
<b>第 4 章</b>	<b>以太网帧和全双工模式</b>	<b>30</b>
4.1	以太网帧	31
4.1.1	帧头	32
4.1.2	目的地址	32
4.1.3	源地址	33
4.1.4	Q 标签	34
4.1.5	信封前缀和后缀	34
4.1.6	类型 / 长度域	35
4.1.7	数据域	36
4.1.8	FCS 域	36
4.1.9	结束帧检测	36
4.2	全双工介质访问控制	37
4.2.1	全双工操作	37
4.2.2	全双工操作效用	38
4.2.3	配置全双工操作	38

4.2.4	全双工介质支持	39
4.2.5	全双工介质段长度	39
4.3	以太网流控制	40
4.4	高层协议和以太网帧	42
4.4.1	多路复用数据帧	42
4.4.2	IEEE 逻辑链路控制	42
4.4.3	LLC 子网络访问协议	43
<b>第 5 章</b>	<b>自动协商</b>	<b>45</b>
5.1	自动协商协议的发展	45
5.2	自动协商的基本概念	46
5.3	自动协商信号	48
5.4	自动协商操作	51
5.4.1	并行探测	53
5.4.2	并行探测操作	53
5.4.3	并行探测和双工不匹配	54
5.4.4	自动协商完成时间	54
5.5	自动协商和布线问题	55
5.5.1	限制 3 类电缆上的以太网速度	56
5.5.2	电缆问题和千兆以太网自动协商	56
5.5.3	交叉电缆和自动协商	56
5.6	1000BASE-X 自动协商	57
5.7	自动协商命令	58
5.8	自动协商调试	58
5.8.1	一般调试信息	59
5.8.2	调试工具和命令	59
5.9	制定链路配置策略	61
5.9.1	企业网络的链路配置策略	61
5.9.2	手动配置带来的问题	62
<b>第 6 章</b>	<b>以太网供电</b>	<b>63</b>
6.1	以太网供电标准	63
6.1.1	PoE 标准目标	64
6.1.2	以太网电源支持的设备	64
6.1.3	PoE 带来的益处	64
6.2	PoE 设备角色	65
6.3	PoE 类型参数	66
6.4	PoE 操作	67
6.4.1	电力检测	67

6.4.2	电力归类	67
6.4.3	链路电力保持	69
6.4.4	电源错误监控	69
6.5	PoE 和电缆对	69
6.6	PoE 电力管理	72
6.6.1	PoE 电力需求	73
6.6.2	PoE 端口管理	73
6.6.3	PoE 监测和电力监管	73
6.7	供应商扩展标准	74
6.7.1	思科的 UPoE	74
6.7.2	美高森美的 EEPoE	74
6.7.3	HDBaseT 供电 (POH)	75

## 第二部分 以太网介质系统

第 7 章	以太网介质信号和节能以太网	78
7.1	介质独立接口	79
7.2	以太网 PHY 组件	80
7.3	以太网信号编码	81
7.3.1	基带信号问题	81
7.3.2	基带漂移和信号编码	82
7.3.3	先进信号技术	82
7.4	以太网接口	82
7.5	节能以太网	83
7.5.1	IEEE EEE 标准	84
7.5.2	EEE 操作	85
7.5.3	EEE 操作对延迟的影响	87
7.5.4	EEE 节能	87
第 8 章	10 Mbit/s 以太网	89
8.1	10BASE-T 介质系统	89
8.1.1	10BASE-T 以太网接口	90
8.1.2	信号极性和极性倒置	90
8.1.3	10BASE-T 信号编码	90
8.1.4	10BASE-T 介质组件	91
8.1.5	将基站接入 10BASE-T 以太网	92
8.1.6	10BASE-T 链路完整性测试	93
8.1.7	10BASE-T 配置向导	93

8.2	光纤介质系统 (10BASE-F)	94
8.2.1	新旧光纤链路段	94
8.2.2	10BASE-FL 信号组件	95
8.2.3	10BASE-FL 以太网接口	95
8.2.4	10BASE-FL 信号编码	95
8.2.5	10BASE-FL 介质组件	95
8.3	10BASE-FL 光纤特性	95
8.3.1	备选 10BASE-FL 光纤电缆	96
8.3.2	光纤连接器	96
8.3.3	连接 10BASE-FL 以太网段	97
8.3.4	10BASE-FL 链路完整性测试	97
8.3.5	10BASE-FL 配置向导	98
<b>第 9 章</b>	<b>100 Mbit/s 以太网</b>	<b>99</b>
9.1	100BASE-X 介质系统	99
9.2	快速以太网双绞线介质系统 (100BASE-TX)	100
9.2.1	100BASE-TX 信号组件	100
9.2.2	100BASE-TX 以太网接口	100
9.2.3	100BASE-TX 信号编码	101
9.2.4	100BASE-TX 介质组件	103
9.2.5	100BASE-TX 链路完整性测试	104
9.2.6	100BASE-TX 配置向导	104
9.3	快速以太网光纤介质系统 (100BASE-FX)	104
9.3.1	100BASE-FX 信号组件	105
9.3.2	100BASE-FX 信号编码	105
9.3.3	100BASE-FX 介质组件	105
9.4	100BASE-FX 光纤特性	107
9.4.1	备选 100BASE-FX 光纤电缆	107
9.4.2	100BASE-FX 链路完整性测试	107
9.4.3	100BASE-FX 配置向导	107
9.4.4	更长的光纤段	108
<b>第 10 章</b>	<b>千兆以太网</b>	<b>109</b>
10.1	千兆以太网双绞线介质系统 (1000BASE-T)	109
10.1.1	1000BASE-T 信号组件	109
10.1.2	1000BASE-T 信号编码	110
10.1.3	1000BASE-T 介质组件	112
10.1.4	1000BASE-T 链路完整性测试	113
10.1.5	1000BASE-T 配置向导	113



10.2	千兆以太网光纤介质系统 (1000BASE-X)	114
10.2.1	1000BASE-X 信号组件	114
10.2.2	1000BASE-X 链路完整性测试	114
10.2.3	1000BASE-X 信号编码	114
10.2.4	100BASE-X 介质组件	115
10.3	1000BASE-X 光纤规格	117
10.3.1	1000BASE-SX 损耗预算	117
10.3.2	1000BASE-LX 损耗预算	118
10.3.3	1000BASE-LX/LH 长距离损耗预算	119
10.4	1000BASE-SX 和 1000BASE-LX 配置向导	119
10.5	差分延迟	120
<b>第 11 章 10 千兆以太网</b>		<b>122</b>
11.1	10 千兆标准架构	122
11.2	10 千兆以太网双绞线介质系统 (10GBASE-T)	124
11.2.1	10GBASE-T 信号组件	124
11.2.2	10GBASE-T 信号编码	125
11.2.3	10GBASE-T 介质组件	127
11.2.4	10GBASE-T 链路完整性测试	129
11.2.5	10GBASE-T 配置向导	129
11.2.6	10GBASE-T 短距离模式	129
11.2.7	10GBASE-T 信号延迟	130
11.3	10 千兆以太网短铜电缆介质系统 (10GBASE-CX4)	130
11.4	10 千兆以太网短铜直连电缆介质系统 (10GSFP+Cu)	131
11.4.1	10GSFP+Cu 信号组件	132
11.4.2	10GSFP+Cu 信号编码	133
11.4.3	10GSFP+Cu 链路完整性测试	133
11.4.4	10GSFP+Cu 配置向导	133
11.5	10 千兆以太网光纤介质系统	134
11.6	10 Gbit/s 光纤介质规范	137
11.7	10 千兆广域网 PHY	138
<b>第 12 章 40 千兆以太网</b>		<b>139</b>
12.1	40 Gbit/s 以太网架构	140
12.2	40 千兆以太网双绞线介质系统 (40GBASE-T)	143
12.3	40 千兆以太网短铜电缆介质系统 (40GBASE-CR4)	144
12.3.1	40GBASE-CR4 信号组件	145
12.3.2	40GBASE-CR4 信号编码	146
12.4	QSFP+ 连接器和多个 10 Gbit/s 接口	147