

普通高等学校网络工程专业规划教材

# 路由协议与交换技术

斯桃枝 编著

清华大学出版社

普通高等学校网络工程专业规划教材

# 路由协议与交换技术

斯桃枝 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书介绍了主要的路由协议和交换技术,包括 CDP、RIP、OSPF、EIGRP、BGP、PPP、帧中继、NAT、ACL、STP、MSTP、HSRP 和 VRRP 等,并详细介绍了交换机的工作原理、三层交换技术、IP 路由原理、路由器的工作原理和路由重分布等基本原理和技术。

本书以园区网作为应用重点,提供了大量的、能在思科模拟器 Cisco Packet Tracer 5.3 上实现的网络配置案例,给出了网络拓扑结构、实验目的和要求、主要配置步骤、知识点验证说明和网络功能效果检测等。

本书集理论知识与实例配置于一体,可作为计算机网络工程专业应用型本科的教材,也可作为网络专业从业人员的自学指导书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

路由协议与交换技术/斯桃枝编著. —北京:清华大学出版社,2012.11

普通高等学校网络工程专业规划教材

ISBN 978-7-302-28603-5

I. ①路… II. ①斯… III. ①路由协议—高等学校—教材 ②计算机网络—信息交换机—高等学校—教材 IV. ①TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 072337 号

责任编辑:龙启铭 战晓雷

封面设计:常雪影

责任校对:白 蕾

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19

字 数:441 千字

版 次:2012 年 11 月第 1 版

印 次:2012 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00 元

对网络专业应用型本科学生来说,不仅要系统地学习计算机网络方面的理论知识,更要熟练地掌握网络方面的实用技术和技能。本书详细介绍了交换机的工作原理、三层交换技术、IP 路由原理、路由器的工作原理和路由重分布等内容。以园区网交换技术、网络互联中的路由技术、远程访问 Internet 技术等作为网络最主要的支撑技术,为学生将来在实际工作中“建好网、管好网、用好网”打下重要基础。牢固地掌握交换机、路由器等网络设备的配置,把这些技术灵活地应用到具体网络应用环境中,是每个应用型本科网络专业的学生应该具备的基本业务素质,也是将来成为一名合格的网络工程师的基础。

本书介绍了主要的路由协议和交换技术,包括:思科专有协议(发现协议 CDP、增强型内部网关路由协议 EIGRP);距离矢量路由协议:内部网关协议 RIP(路由信息协议)和外部网关协议 BGP(边界网关协议);链路状态路由协议 OSPF(开放最短链路优先);广域网协议:PPP(点对点协议)、帧中继;园区网相关协议(网络地址转换 NAT、访问控制列表 ACL、生成树协议 STP 和 MSTP)以及网关冗余技术(HSRP、VRRP)等。

本书以园区网作为应用重点,提供大量的、能在思科模拟器 Cisco Packet Tracer 5.3 上实现的网络配置案例,给出了网络拓扑结构、实验目的和要求、主要配置步骤、知识点验证说明和网络功能效果检测等。通过这些案例以帮助学生更好地理解和应用路由协议和交换技术,使他们能够学以致用、学有所用。

本书参考了 CCNA、CCNP 中与路由协议和交换技术相关的大量知识点和配置案例,集理论知识与实例配置于一体,可作为计算机网络工程专业应用型本科的教材,也可作为网络专业从业人员的自学指导书。

本书由上海第二工业大学计算机与信息学院斯桃枝主编和统稿,上海第二工业大学计算机与信息学院姚驰甫、刘琰参编,其中第 1~第 6 章和第 10~第 12 章由斯桃枝编写,第 7~第 9 章由姚驰甫编写,第 13 章由刘琰编写,书中的练习与思考题全部由刘琰编写。本书得到上海第二工业大学网络运营中心顾钧的大力支持和帮助。书中的案例在 Cisco Packet Tracer 5.3 上的实现由上海第二工业大学网络工程本科专业的学生完成,他们是在上海斐讯数据通信技术有限公司做网络工程师的华叔峰(CCIE No: 29522),在上海未来宽带技术及应用工程研究中心有限公司工作的蒋文译(CCIE No: 20527),在思科金牌代理公司达科信息科技(北京)有限公司工作的叶明杰、唐宇峰(获

CCNP 证书),在中国联合网络通信集团有限公司工作的夏吉祥(获 CCNP 证书)等,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,书中的不妥和错误在所难免,诚请各位专家、读者批评指正。编者的 E-mail 为 [tzsi@it.sspu.cn](mailto:tzsi@it.sspu.cn)、[yao\\_chifu@163.com](mailto:yao_chifu@163.com)、[huohuwang@163.com](mailto:huohuwang@163.com)。

编 者

2012 年 8 月

---

F O R E W O R D

<b>第 1 章 路由器配置基础</b>	/1
1.1 路由器基础知识	/1
1.1.1 路由器的启动过程	/1
1.1.2 开始路由器的配置	/3
1.1.3 路由器的配置模式	/3
1.1.4 路由器的基本配置	/4
1.2 CDP 协议	/10
1.3 路由器的工作原理	/13
1.4 路由表	/16
1.5 路由决策原则	/16
1.6 本章命令汇总	/18
习题与实验	/19
<b>第 2 章 静态路由</b>	/21
2.1 IP 路由选择协议	/21
2.2 静态路由	/23
2.2.1 直连路由	/23
2.2.2 ip route 命令	/24
2.2.3 默认路由	/25
2.2.4 ip classless	/26
2.3 静态路由应用举例	/26
2.3.1 ip route 配置举例	/26
2.3.2 默认路由的配置举例	/29
2.4 本章命令汇总	/31
习题与实验	/31
<b>第 3 章 RIP 路由协议</b>	/34
3.1 RIP 理论基础	/34
3.1.1 RIP 综述	/34
3.1.2 RIP 的工作过程	/35

- 3.1.3 路由环路 /37
- 3.1.4 RIP 中的计时器 /38
- 3.2 RIP 的配置 /39
  - 3.2.1 RIP 的配置步骤和常用命令 /39
  - 3.2.2 RIP 基本配置实例 /42
  - 3.2.3 被动接口与单播更新 /49
  - 3.2.4 RIP 与浮动静态路由 /52
  - 3.2.5 RIP v2 认证和触发更新 /54
- 3.3 本章命令汇总 /58
- 习题与实验 /59

#### 第 4 章 OSPF 路由协议 /61

- 4.1 OSPF 的基本概念 /61
- 4.2 OSPF 的工作过程 /65
  - 4.2.1 建立路由器的邻居关系 /65
  - 4.2.2 选举 DR 和 BDR /66
  - 4.2.3 链路状态数据库的同步 /67
  - 4.2.4 路由表的产生 /68
  - 4.2.5 维护路由信息 /69
  - 4.2.6 OSPF 运行状态和协议包 /70
- 4.3 OSPF 中的计时器 /73
- 4.4 单区域 OSPF 的配置 /74
  - 4.4.1 单区域 OSPF 的基本配置 /75
  - 4.4.2 广播多路访问链路上 DR 和 BDR 的选举 /80
  - 4.4.3 基于区域的 OSPF 认证配置 /84
  - 4.4.4 基于链路的 OSPF 认证配置 /87
- 4.5 多区域 OSPF 的配置 /88
  - 4.5.1 多区域 OSPF 概述 /88
  - 4.5.2 单区域 OSPF 的基本配置 /91
  - 4.5.3 多区域 OSPF 的高级配置 /96
- 4.6 本章命令汇总 /105

习题与实验 /106

**第 5 章 EIGRP 路由协议 /108**

- 5.1 EIGRP 概述 /108
  - 5.1.1 EIGRP 的基本概念 /108
  - 5.1.2 EIGRP 的工作过程 /110
  - 5.1.3 DUAL 算法 /111
  - 5.1.4 EIGRP 中 metric 的计算方法 /113
- 5.2 EIGRP 的基本配置 /115
- 5.3 EIGRP 的汇总和认证 /119
- 5.4 EIGRP 的负载均衡 /121
- 5.5 本章命令汇总 /126
- 习题与实验 /126

**第 6 章 多种路由协议重分布 /130**

- 6.1 路由重分布概述 /130
  - 6.1.1 路由重分布的基本概念 /130
  - 6.1.2 路由重分布的命令 /131
  - 6.1.3 在多路由协议中选择最佳路径 /132
- 6.2 静态路由、RIP、OSPF 和 EIGRP 路由重分布举例 /135
- 6.3 本章命令汇总 /140
- 习题及实验 /141

**第 7 章 广域网协议 /144**

- 7.1 广域网协议概述 /144
  - 7.1.1 广域网连接类型 /144
  - 7.1.2 HDLC 协议 /145
  - 7.1.3 MPLS 协议 /146
- 7.2 PPP 协议 /146
  - 7.2.1 PPP 协议概述 /146
  - 7.2.2 PPP 协议配置实例 /148



- 7.3 帧中继 /150
  - 7.3.1 帧中继概述 /150
  - 7.3.2 配置帧中继交换机 /153
  - 7.3.3 帧中继静态和动态映射 /155
  - 7.3.4 帧中继和 OSPF 在非广播型网络中的综合配置 /157
  - 7.3.5 帧中继和 OSPF 在广播多路访问网络中的综合配置 /160
  - 7.3.6 帧中继和 OSPF 在点到点网络中的综合配置 /160
  - 7.3.7 帧中继和 OSPF 在点到多点网络中的综合配置 /162
- 7.4 本章命令汇总 /163
- 习题与实验 /164

**第 8 章 NAT /166**

- 8.1 NAT 概述 /166
  - 8.1.1 NAT 的基本概念 /166
  - 8.1.2 NAT 的分类 /167
- 8.2 NAT 的配置 /169
  - 8.2.1 NAT 的配置步骤 /169
  - 8.2.2 NAT 的配置实例 /169
- 8.3 本章命令汇总 /174
- 习题与实验 /175

**第 9 章 ACL /178**

- 9.1 ACL 概述 /178
  - 9.1.1 什么是 ACL /178
  - 9.1.2 ACL 的访问顺序 /180
  - 9.1.3 ACL 的分类 /181
- 9.2 ACL 的基本配置举例 /187
  - 9.2.1 标准 ACL 配置举例 /187

9.2.2	扩展 ACL 配置举例	/190
9.3	本章命令汇总	/193
	习题与实验	/194
<b>第 10 章</b>	<b>BGP 协议</b>	<b>/197</b>
10.1	BGP 概述	/197
10.1.1	BGP 术语	/197
10.1.2	BGP 消息类型	/198
10.1.3	BGP 的 3 张表	/198
10.1.4	BGP 邻居建立的状态	/198
10.1.5	BGP 的属性	/199
10.1.6	BGP 的路由决策	/200
10.2	BGP 的基本配置	/201
10.3	本章命令汇总	/207
	习题与实验	/208
<b>第 11 章</b>	<b>交换网络</b>	<b>/211</b>
11.1	交换机基础	/211
11.1.1	交换机的工作机制	/212
11.1.2	交换机的交换方式	/214
11.2	虚拟局域网	/215
11.2.1	VLAN 的工作机制	/215
11.2.2	VLAN 的划分方法	/216
11.2.3	同一 VLAN 不同交换机之间的数据 转发	/219
11.2.4	用单臂路由实现不同 VLAN 之间的 数据转发	/220
11.3	三层交换机	/222
11.3.1	三层交换机的工作机制	/222
11.3.2	用三层交换机实现不同 VLAN 之间 的数据转发	/225
11.4	多层交换结构	/226

- 11.4.1 交换机的端口类型 /226
- 11.4.2 交换机和路由器之间的互连 /230
- 11.4.3 多层交换结构配置举例 /230
- 11.5 交换机的端口安全性 /235
  - 11.5.1 端口安全概述 /235
  - 11.5.2 端口安全的应用举例 /238
- 11.6 本章命令汇总 /241
- 习题与实验 /241

## 第 12 章 生成树协议与冗余网关协议 /244

- 12.1 生成树协议概述 /244
- 12.2 生成树协议的发展 /244
- 12.3 STP /248
  - 12.3.1 生成树协议的基本术语 /248
  - 12.3.2 生成树协议中的选择原则 /249
  - 12.3.3 STP 端口的状态 /251
  - 12.3.4 STP 的重新计算 /252
  - 12.3.5 生成树的配置命令汇总 /252
- 12.4 MSTP 多实例生成树协议的配置 /253
  - 12.4.1 MSTP 的应用说明 /253
  - 12.4.2 MSTP 的配置举例 /254
- 12.5 三层网关冗余协议 /259
  - 12.5.1 网关冗余协议概述 /259
  - 12.5.2 单 VLAN 的 VRRP 应用 /261
  - 12.5.3 多 VLAN 的 VRRP 应用 /264
  - 12.5.4 冗余技术的综合使用实例——  
MSTP+VRRP /265
- 习题与实验 /268

## 第 13 章 综合案例 /270

- 13.1 功能概述 /270
- 13.2 各设备配置清单 /274

13.2.1	各路由器的主要配置	/274
13.2.2	各交换机的主要配置	/281
13.3	全网段连通性测试及服务验证	/285
13.3.1	在 PC1 上测试全网段的连通性	/285
13.3.2	配置内外服务器	/286
13.4	访问控制列表的设置	/289
13.5	NAT 地址转换	/290

# 第 1 章 路由器配置基础

本章介绍路由器的基础知识和基本配置,包括路由器的硬件组成、路由器的启动过程、CLI 界面的几种模式、各种编辑命令、路由器的基本初始化命令、FTP 服务器的配置、Telnet 的配置、路由器配置文件保存和备份以及 CDP 协议等。

有路由器配置基础的读者可以跳过本章。

## 1.1 路由器基础知识

路由器相当于一台 PC 主机,由硬件和软件组成。路由器的硬件由中央处理单元(Central Processor Unit,CPU)、只读存储器(Read Only Memory,ROM)、内存(Random Access Memory, RAM)、闪存(Flash Memory)、非易失性内存(Nonvolatile RAM, NVRAM)、接口、控制台端口(Console Port)、辅助端口(Auxiliary Port)、线缆(Cable)等物理硬件组成;软件由路由器的 IOS(Internet Network Operating System)操作系统和运行配置文件组成。

CPU 负责路由器的配置管理、维护路由表、选择最佳路由以及转发数据包等。

ROM 保存着加电自测试诊断所需的指令、自举程序、路由器 IOS 操作系统的引导部分,负责路由器的引导和诊断(系统初始化功能)。

闪存是可读可写的存储器,保存着 IOS 操作系统文件,相当于硬盘。

NVRAM 是可读可写的存储器,保存着 IOS 在路由器启动时读入的“启动配置文件”(Startup-Config)。当路由器启动时,首先寻找并执行该配置。路由器启动后,该配置就变成了“运行配置”(Running-Config)。只有当修改了运行配置并保存后,Running-Config 又写入到 Startup-Config。

RAM 是可读可写的存储器,和计算机中的 RAM 一样,其主要作用是在路由器运行期间存放临时数据,如 Running-Config、路由表、ARP 表和命令(程序代码)等。

路由器连接不同的网络,进行网络互连是通过接口完成的。所有路由器的基本配置中至少有两个快速以太网口和两个串行接口,不同档次的路由器可加配的模块数(插槽个数)不同、接口类型也不同。通常以太网使用 RJ-45 接口,串行接口使用 V35 接口、E1 接口等。

路由器通过 Console 口进行配置,以改变配置文件。

### 1.1.1 路由器的启动过程

(1) 打开路由器电源后,系统硬件执行加电自检(POST),运行 ROM 中的硬件检测程序,检测各组件能否正常工作。完成硬件检测后,开始软件初始化工作。

(2) 软件初始化过程。加载并运行 ROM 中的 BootStrap 启动程序,进行初步引导工作。

(3) 定位并加载 IOS 系统文件(通常在闪存中,如果没有,就必须定位 TFTP 服务器,在 TFTP 服务器中加载 IOS 系统文件)。IOS 系统文件可以存放在闪存或 TFTP 服务器的多个位置处,路由器寻找 IOS 映像的顺序取决于配置寄存器的启动域及其他设置,配置寄存器不同的值代表在不同的位置查找 IOS。

(4) IOS 装载完毕,系统就在 NVRAM 中搜索保存的 Startup-Config 配置文件,若存在,则将该文件调入 RAM 中并逐条执行;若找不到该文件,则系统要求采用对话方式对路由器进行初始配置,路由器的初始配置包括以下内容。

- ① 设置路由器名;
- ② 设置进入特权模式的密码;
- ③ 设置虚拟终端访问的密码;
- ④ 询问是否要设置路由器支持的各种网络协议;
- ⑤ 配置 FastEthernet0/0 接口;
- ⑥ 配置 serial0 接口。

设置完成后,系统会问是否使用这个设置。

如果在启动时不想进行这些配置,就放弃对话方式,在“Continue with configuration dialog? [yes/no]:”下回复 no,进入 Setup 模式,以后再使用命令行形式对路由器进行配置。

(5) 运行经过配置的 IOS 软件。

路由器查找 IOS 的详细流程如图 1-1 所示。配置寄存器的启动域的值(16 进制)如下:

0: 使用 ROM 模式;

1: 自动从 ROM 中启动;

2-F: 从闪存或 TFTP 服务器启动。

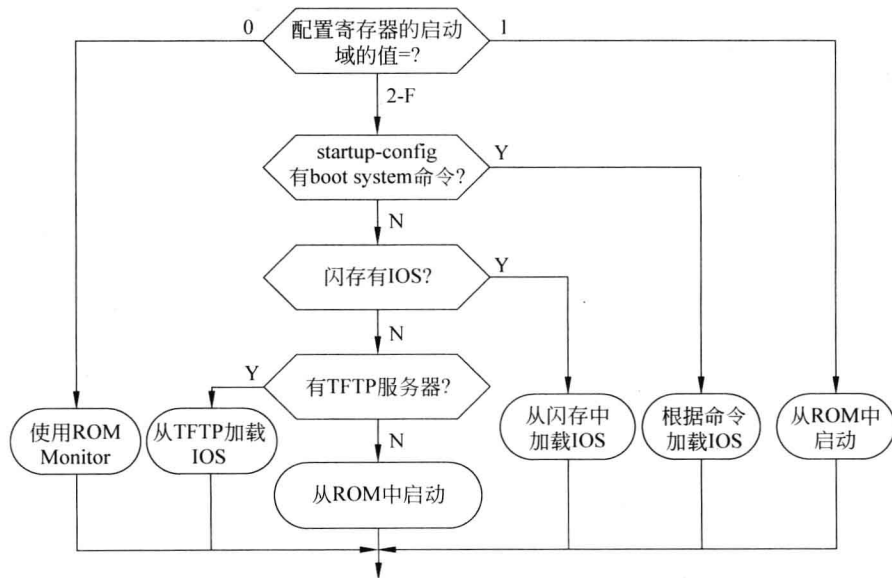


图 1-1 路由器查找 IOS 的详细流程

### 1.1.2 开始路由器的配置

通常,对于路由器的首次配置(建议在启动过程中不要配置)必须通过 Console 口连接到路由器(有专用的 Console 线)。即使以后想通过 Telnet 进行远程配置,也必须先通过 Console 方式(本地方式)配置好路由器的管理 IP 地址及 Telnet 密码后才可远程配置。

路由器一般都随机配送了一根控制线(Console 线),它的一端是 RJ-45 水晶头,用于连接路由器的 Console 控制台接口,另一端提供了 DB-9(针)或 DB-25(针)串行接口插头,用于连接 PC 的 COM1 或 COM2 串行接口。

通过该控制线把路由器与 PC 相连,并在 PC 上运行超级终端仿真程序,即可实现将 PC 仿真成路由器的一个终端(路由器是一台主机,PC 作为其显示终端),从而实现对路由器的访问和配置。

所有 Windows 系统都默认安装了超级终端程序,该程序位于“开始”菜单/“程序”/“附件”/“通信”下,单击“超级终端”,即可启动超级终端。

首次启动超级终端时,要求输入所在地区的电话区号,输入后出现如图 1-2 所示的创建连接对话框,在“名称”输入框中输入该连接的名称(如 router),并选择所使用的图标,然后单击“确定”按钮,将弹出图 1-3 的对话框,要求选择连接使用的 COM 端口,根据实际连接使用的端口进行选择,比如 COM1,然后单击“确定”按钮。

路由器控制台端口默认的通信波特率为 9600b/s,数据流量控制选择“无”等,如图 1-3 所示。也可直接单击“还原为默认值”按钮来进行自动设置。单击“确定”按钮,即可通过命令来配置路由器,开始路由器的管理了。

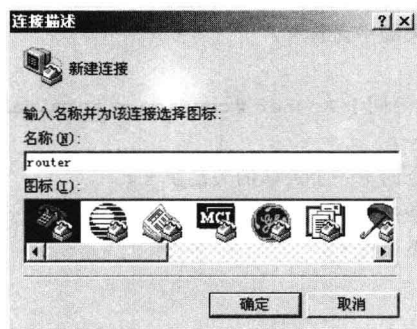


图 1-2 超级终端创建连接对话框

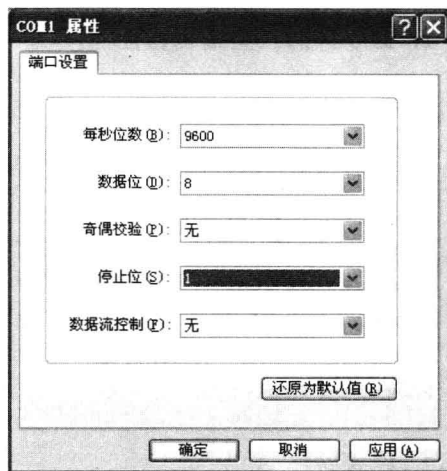


图 1-3 设置 COM1 端口的属性

### 1.1.3 路由器的配置模式

路由器的配置模式有以下 4 种。

- (1) 用户模式(user mode),提示符为>。
- (2) 特权模式(privileged mode),提示符为#。
- (3) 全局模式(global config mode),提示符为“router(config)#”。
- (4) 子模式(sub-mode)。

子模式有多种,常用的有:

- ① 接口模式(interface mode),提示符为“router(config-if)#”。
- ② 路由模式(router mode),提示符为“router(config-router)#”。
- ③ 线路模式(line mode),提示符为“router(config-line)#”。

模式之间的转换如图 1-4 所示,线上标注的是在提示符下输入的命令。

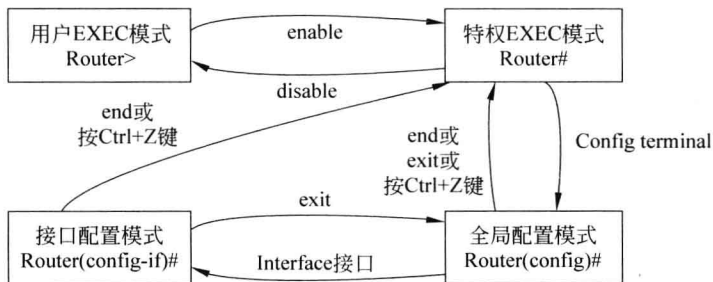


图 1-4 模式转换图

## 1.1.4 路由器的基本配置

### 1. 命令行的一些编辑特性

```
Router# di? /* 获得相同开头的命令关键字字符串,显示如下 */
dir disable
Router# show conf<Tab> /* 使命令的关键字完整 */
# show configuration
Router # conf t /* 命令简写,等同于 Router #configure terminal */
Router# show conf /* 简写命令 */
Router# show ? /* 列出该命令的下一个关联的关键字 */
Router#按 Ctrl+P 或上方向键 /* 浏览前一条命令 */
Router#按 Ctrl+N 或下方向键 /* 浏览后一条命令 */
```

### 2. 模式转换

通过超级终端进入到路由器的配置后,默认进入用户模式(user mode),系统提示符为>。按图 1-4 输入相应的命令后,进行特权模式、全局模式和子模式间的相互转换,下面示范不同模式下的常用命令。

```
Router> /* 用户模式 */
Router> enable
```



```

Router#                                     /* 特权模式 */
Router# configure terminal
Router(config)#                             /* 全局模式 */
Router(config)# interface f0/0
                                           /* 查看路由器以太网接口名称,这里是 FastEthernet 0/0 */
Router(config-if)#                          /* 子模式,接口模式 */

```

从子接口模式退出,有两种方法:

(1)

```

Router(config-if)# exit                   /* 从子接口模式退出到全局模式 */
Router(config)# exit                       /* 再退出到特权模式 */

```

(2)

```

Router(config-if)# end (或按 Ctrl+Z 键) /* 从子接口模式一次退出到特权模式 */
Router# disable                             /* 从特权模式退出到用户模式 */
Router>

```

### 3. 命名路由器

```

Router> enable
Router# configure terminal
Router(config)#
Router(config)# hostname Lab-A           /* 命名路由器,Lab-A */

```

### 4. 配置进入特权模式的密码

```

Lab-A (config)#
Lab-A (config)# enable password cisco    /* 明文,未加密 */
Lab-A (config)# show run                 /* 查看配置文件,显示 enable password cisco */
Lab-A (config)# enable secret cisco     /* 设置密文密码 */
Lab-A (config)# Show run                 /* 查看配置文件,显示的是密文 */

```

验证: 在 Router>下输入 enable 后出现 password,要求输入特权模式下的密码。

### 5. 配置 Telnet 登录密码

```

Lab-A (config)# line vty 0 4             /* 进入控制线路配置模式,vty 是路由器的远程登录的虚拟端口,0 4 表示可以同时打开从 0 到 4 共 5 个会话 */
Lab-A (config-line)# login                /* 开启登录密码保护 */
Lab-A (config-line)# password cisco     /* 设置密码为 cisco */
Lab-A (config-line)# exit
Lab-A (config)#

```

验证: 只有配置好 Telnet 的口令后,才能在远端用“Telnet 设备管理 IP 地址”登录到此设备,对其进行配置。