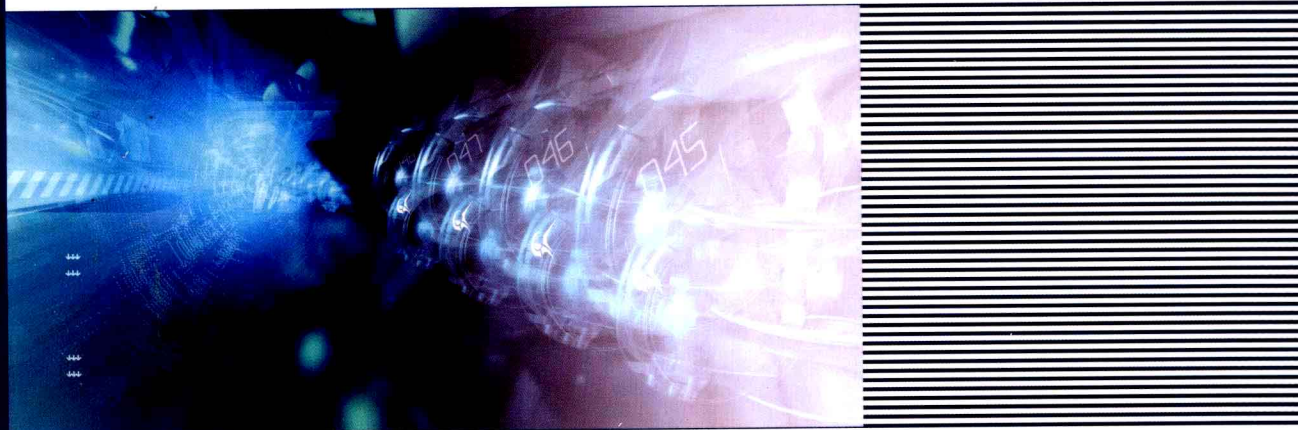


21世纪高等院校网络工程规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Network Engineering



计算机 网络设计 (第2版)

Computer
Networks Design (2nd Edition)

易建勋 姜腊林 史长琼 编著

- 以网络拓扑结构设计为主线
- 提出良好网络设计解决方案
- 遵循“广度优先”教学原则

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等院校网络工程规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Network Engineering



计算机 网络设计 (第2版)

Computer
Networks Design (2nd Edition)

易建勋 姜腊林 史长琼 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

计算机网络设计 / 易建勋, 姜腊林, 史长琼编著

— 2版. — 北京: 人民邮电出版社, 2011.5

21世纪高等院校网络工程规划教材

ISBN 978-7-115-22730-0

I. ①计… II. ①易… ②姜… ③史… III. ①计算机
网络—网络设计—高等学校—教材 IV. ①TP393.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第044572号

内 容 提 要

本书在第1版基础上进行了全面修订,增加了地址规划、路由技术、网络可靠性设计和光纤通信工程等方面的内容。更新了网络设计方面的最新技术,使教材重点更加突出,更适用于教学需要。

全书分为两大部分,第一部分(第1~7章)主要从纵向分析网络工程设计的基本原则和方法,内容包括:网络设计的基本原则、网络设计的模型、用户需求分析、网络拓扑结构设计、网络性能设计、网络可靠性设计、网络安全设计。第二部分(第8~12章)主要从横向介绍各种常用计算机网络的设计,内容包括:光通信网络设计、综合布线设计、城域接入网设计、城域传输网设计、国内外主要互联网结构等内容。

本书的特点是以网络拓扑结构设计为主线,提出了一些良好的网络设计解决方案。本书主要作为网络工程、通信工程、计算机科学技术等专业的教材。为了教学的需要,各章均附有习题、电子课件等教学资料。为了对网络工程专业人员有所帮助,本书特别注意到技术资料的完整性和实用性。

21世纪高等院校网络工程规划教材

计算机网络设计 (第2版)

-
- ◆ 编 著 易建勋 姜腊林 史长琼
责任编辑 刘 博
 - ◆ 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>
中国铁道出版社印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21.5 2011年5月第2版
字数: 538千字 2011年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-22730-0

定价: 39.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前 言

主要内容

本教材以网络结构设计为主线，从网络设计分析和常用网络设计两个方面进行分析和讨论。全书分为两大部分，第 1~7 章为第一部分，主要从纵向分析网络设计的基本原则和方法，内容包括：网络设计规范，网络设计基本原则，用户需求分析，网络拓扑结构设计，网络分层设计模型，网络地址规划，网络路由技术，网络性能设计，网络 QoS 设计，网络负载均衡设计，网络可靠性设计，存储网络设计，网络集群系统设计，网络防火墙技术，网络安全设计技术，网络物理隔离设计等内容。第 8~12 章为第二部分，主要从横向讨论各种常用网络的设计，内容包括：光纤和光缆的技术性能，光通信设备的选型和应用，光纤通信工程设计，光纤通信工程施工，网络常用设备选型，网络设备互联，网络综合布线设计，网络机房设计，城域宽带接入网设计，城域 SDH 传输网设计，DWDM 骨干传输网设计，电信级城域以太网设计，国内外主要互联网结构等内容。

教学说明

本教材主要作为网络工程、物联网工程、通信工程、计算机科学技术等专业大学本科教材。在学习本书前，读者应当已经学习完“计算机网络”或者“数据通信”之类的原理性课程，或已具备计算机网络的相关基础知识，因为本书不再介绍网络基础知识。

本教材遵循“广度优先”的教学原则，书中涉及的知识面较为广泛。通过这门课程的学习，学生应当达到融会贯通专业知识的要求。但是这也容易导致多而不专的教学效果，为了避免这种情况，应当在课程学习中把握“网络结构分析”这一基本原则。

一门课程很难做到面面俱到，本教材也不例外。出于课程安排和教材容量限制方面的原因，没有讨论：无线移动网络设计，语音和视频网络设计，工业以太网设计，物联网设计，网络操作系统选型，网络服务器软件优化，网络管理设计，网络数据库优化等方面的内容。作者认为，这些内容非常重要，应当在其他课程中进行更深入地分析和讨论。

由于教材篇幅的限制，网络设计中的一些内容本书没有展开深入分析，如重要设计参数的分析和计算，网络设备选型分析，网络施工图纸设计，网络技术方案的测试，网络技术文档撰写，完整设计案例分析等。应当通过课程设计和毕业设计加强这方面的训练。

本教材在知识点安排，内容均衡等方面，都根据课堂教学的实际情况进行了适当安排。教材每章内容具有一定的独立性，教师可根据课时多少，对教学内容进行适当删减。

教材说明

本教材在第 1 版的基础上进行了全面修订，大约删除了 1/3 的内容，新增了 1/3 的内容。删除的内容主要为：在本课程中无法讲清楚的技术，如 VoIP；目前应用不太广泛的技术，如网格技术。大量压缩了一些网络技术的原理性描述，如 VPN、ADSL、WLAN 等。新增加的内容主要为：物联网的基本概念和模型，网络地址规划，网络路由技术，网络高可靠集群技

术, 光通信设备与技术, 光传输网络设计, 网络中心机房设计, 电信级城域以太网设计等。这使教材重点更加突出, 更适用于教学的需要。

教材中列举了一些网络设备和工程项目的市场报价, 目的是为了在课程设计和毕业设计中, 设计方案量化比较的需要, 产品的实际成交价会随时间和折扣率而变化。

教材列举的网络配置实例中, 为了读者阅读方便, 作者在配置命令行中加入了大量中文注释。由于不同厂商和不同网络设备对注释的隔离标识符不一致, 因此本书统一采用双“/”符号进行注释隔离。

教材中部分网络图例没有标注名称的图标与设备, 统一在附录中进行注解。

每章习题中, 1~5 题为简要说明题, 在教材中可以找到答案。6~8 题为讨论题, 没有标准答案, 这些题目可用于课堂讨论, 也可以作为课程论文题目, 目的是激发学生讨论问题的兴趣。第 9 题为课程论文题, 第 10 题为实验题。

教材中涉及的英文缩写名词较多, 为了避免繁琐, 便于阅读, 本书对常识性英语缩写名词(如 TCP/IP、IEEE、LAN 等)不进行注释; 对大部分不易理解的英语缩写只注释中文词义, 如 GE (吉比特以太网); 对于部分较生僻、不易找到原文的英文缩写, 一般随书注释, 如 EC (EtherChannel, 以太通道/端口汇聚组)。

致谢

本教材主编为易建勋, 副主编为姜腊林和史长琼, 熊兵、刘青、龙际珍、谢晓巍、王静、邓江沙、吴佳英等老师参加了本书的编写工作。

因特网上的技术资料给作者提供了极大的帮助, 本书也是建立在这些技术专家辛勤工作的基础上。非常感谢这些作者, 没有你们的技术探讨, 作者不可能完成这项工作。

期待您的反馈

教材的中英文名词对照表和 PPT 教学课件等教学材料, 可在人民邮电出版社教学服务与资源网上 (<http://www.ptpedu.com.cn>) 免费下载, 也可以通过 E-mail 向作者获取。

虽然作者在写作中尽了最大努力, 书中仍然可能存在一些不够详尽和准确的地方。如果您在阅读中发现了不足和错误, 可以通过以下电子邮件地址与作者进行联系 yjxcs@163.com。

易建勋

2011 年 2 月 18 日

目 录

第 1 章 网络设计规范与方法	1	习题	39
1.1 网络工程概述	1	第 3 章 网络拓扑结构设计	40
1.1.1 系统集成的组成与特点	1	3.1 点对点类型网络拓扑结构	40
1.1.2 网络工程的特点与要求	3	3.1.1 点对点网络的特点	40
1.1.3 网络工程的集成步骤	6	3.1.2 链路形拓扑结构	41
1.1.4 网络工程常用工具软件	7	3.1.3 环形拓扑结构	42
1.2 网络工程设计规范	8	3.1.4 网状形拓扑结构	44
1.2.1 网络标准的制定	8	3.2 广播类型网络拓扑结构	45
1.2.2 ITU-T 通信网络标准	9	3.2.1 广播网络的特点	45
1.2.3 IEEE 计算机网络标准	10	3.2.2 总线形拓扑结构	46
1.2.4 IETF 因特网标准	11	3.2.3 星形拓扑结构	47
1.3 网络体系结构	12	3.2.4 蜂窝形拓扑结构	48
1.3.1 OSI/RM 网络体系结构	12	3.2.5 混合形拓扑结构	48
1.3.2 TCP/IP 网络体系结构	13	3.3 网络分层设计方法	49
1.3.3 IEEE 以太网体系结构	14	3.3.1 接入层设计	49
1.3.4 物联网体系结构	15	3.3.2 汇聚层设计	51
1.4 网络工程设计模型与原则	18	3.3.3 核心层设计	52
1.4.1 网络工程分层设计模型	18	3.4 服务子网和网络扩展设计	54
1.4.2 网络工程设计基本原则	20	3.4.1 服务子网结构设计	54
1.4.3 网络设计中的矛盾分析	22	3.4.2 网络结构扩展设计	55
习题	24	3.4.3 IPv4 网络升级设计	57
第 2 章 网络用户需求分析	25	3.4.4 网络设计案例分析	58
2.1 用户需求分析的基本方法	25	3.5 VLAN 设计	60
2.1.1 需求分析的基本内容	25	3.5.1 VLAN 的划分方法	60
2.1.2 用户的权利与义务	27	3.5.2 VLAN 的基本配置	63
2.1.3 需求获取的方法	28	3.5.3 VLAN 之间的中继	65
2.1.4 需求分析中存在的问题	29	3.5.4 VLAN 的设计原则	66
2.2 用户基本要求需求分析	30	3.5.5 网络环路与生成树协议	68
2.2.1 用户类型的分析	30	习题	69
2.2.2 用户网络功能需求分析	32	第 4 章 地址规划与路由技术	70
2.2.3 网络基本结构需求分析	33	4.1 网络地址规划	70
2.2.4 网络投资约束条件分析	34	4.1.1 IP 地址类型与规定	70
2.3 用户高级要求需求分析	35	4.1.2 子网与子网掩码	72
2.3.1 网络扩展性需求分析	35	4.1.3 CIDR 子网划分技术	73
2.3.2 网络性能需求分析	36	4.1.4 VLSM 子网划分技术	74
2.3.3 网络可靠性需求分析	37	4.1.5 网络地址规划原则	75
2.3.4 网络安全需求分析	38	4.2 静态路由技术	76
2.3.5 网络管理需求分析	39	4.2.1 路由技术概述	76

4.2.2	静态路由基本配置	78	第6章 网络可靠性设计	131
4.2.3	静态路由配置案例	79	6.1 可靠性设计概述	131
4.2.4	路由表基本结构	81	6.1.1 网络可靠性分析与计算	131
4.2.5	NAT 类型与配置	83	6.1.2 网络可用性分析与计算	132
4.3	OSPF 路由技术	85	6.1.3 网络可靠性设计原则	134
4.3.1	OSPF 的工作原理	85	6.1.4 可靠性设计案例分析	136
4.3.2	OSPF 的重要概念	86	6.2 网络冗余设计	137
4.3.3	OSPF 常用基本配置	87	6.2.1 冗余设计的基本原则	137
4.3.4	OSPF 多区域路由配置	89	6.2.2 网络结构的冗余设计	139
4.3.5	OSPF 虚拟链路配置	91	6.2.3 网络链路的冗余设计	140
4.4	BGP 路由技术	92	6.2.4 网络设备的冗余设计	141
4.4.1	互联网的自治系统	92	6.2.5 HSRP 热备份路由设计	142
4.4.2	BGP 路由工作原理	93	6.3 存储网络设计	144
4.4.3	BGP 路由基本配置	94	6.3.1 SCSI 与 SAS 接口技术	144
4.4.4	BGP 路由属性配置	96	6.3.2 RAID 磁盘阵列技术	145
4.4.5	BGP 路由配置案例	98	6.3.3 FC 光纤通道存储网络设计	148
	习题	99	6.3.4 SAN 存储区域网络设计	150
第5章 网络性能设计		101	6.3.5 IP 存储网络设计	153
5.1	网络带宽分析与设计	101	6.4 高可用集群系统设计	155
5.1.1	带宽不稳定性分析	101	6.4.1 计算机集群系统的类型	155
5.1.2	网络用户业务模型	102	6.4.2 HA 集群软件系统结构	156
5.1.3	网络带宽设计案例	104	6.4.3 HA 集群系统硬件设备	158
5.1.4	网络集线比设计	105	6.4.4 HA 集群网络拓扑结构	159
5.1.5	网络带宽管理技术	106	6.4.5 Heartbeat 集群的设计与配置	161
5.2	网络流量分析与设计	107	习题	162
5.2.1	网络流量的特性	108	第7章 网络安全设计	164
5.2.2	网络流量设计模型	109	7.1 网络安全体系与技术	164
5.2.3	电话流量的爱尔兰模型	111	7.1.1 网络安全故障案例分析	164
5.2.4	网络链路聚合设计	113	7.1.2 IATF 网络安全体系结构	165
5.2.5	EtherChannel 配置案例	114	7.1.3 TCP/IP 各层安全技术	166
5.3	服务质量分析与设计	116	7.1.4 网络信息加密技术	167
5.3.1	QoS 主要技术指标	116	7.2 防火墙与 DMZ 设计	170
5.3.2	IntServ 综合业务模型	118	7.2.1 防火墙的类型与功能	170
5.3.3	DiffServ 区分业务模型	118	7.2.2 DMZ 的功能与安全策略	171
5.3.4	QoS 流量控制配置	120	7.2.3 DMZ 的网络结构设计	172
5.3.5	QoS 队列调度配置	122	7.2.4 PIX 防火墙配置命令	173
5.4	负载均衡技术与设计	123	7.2.5 PIX 防火墙配置案例	175
5.4.1	负载均衡的基本类型	123	7.3 网络安全设计技术	177
5.4.2	负载均衡的设计要求	124	7.3.1 IDS 网络安全设计	177
5.4.3	负载均衡的设计技术	125		
5.4.4	NAT 负载均衡配置	127		
5.4.5	广播风暴控制技术	128		
	习题	130		

7.3.2	IPS 网络安全设计	179	9.2	网络设备的互连	236
7.3.3	ACL 网络安全技术	180	9.2.1	交换机设备的级联	236
7.3.4	VPN 网络安全设计	183	9.2.2	交换机设备的堆叠	237
7.4	网络物理隔离设计	185	9.2.3	服务器与 KVM 的连接	238
7.4.1	网络隔离的技术特点	185	9.2.4	传输距离的扩展	239
7.4.2	网络物理隔离工作 原理	186	9.3	综合布线系统设计	242
7.4.3	安全隔离网闸工作 原理	189	9.3.1	综合布线系统结构	243
7.4.4	物理隔离网络设计案例	190	9.3.2	布线系统设计规范	244
	习题	192	9.3.3	综合布线材料预算	245
第 8 章	光纤通信工程设计	193	9.3.4	建筑群子系统设计	248
8.1	光纤与光缆	193	9.3.5	干线子系统设计	249
8.1.1	光纤通信系统结构	193	9.3.6	配线子系统设计	250
8.1.2	光纤结构和类型	194	9.3.7	工作区子系统设计	252
8.1.3	光纤的传输特性	196	9.4	网络中心机房设计	254
8.1.4	光缆结构和类型	199	9.4.1	数据中心基本设计	254
8.1.5	光纤连接器类型	200	9.4.2	机房布线系统设计	256
8.2	光纤通信设备	202	9.4.3	机房电源系统设计	257
8.2.1	光端机	202	9.4.4	机房接地系统设计	259
8.2.2	光纤收发器	205		习题	260
8.2.3	光模块	207	第 10 章	城域接入网设计	262
8.2.4	光纤 Modem	208	10.1	城域接入网结构	262
8.2.5	光纤放大器	209	10.1.1	城域网层次模型	262
8.3	光纤通信工程设计	210	10.1.2	接入网基本结构	263
8.3.1	通信系统假设参考模型	210	10.1.3	接入网常见类型	264
8.3.2	光纤通信工程现场勘察	211	10.1.4	接入网技术特征	265
8.3.3	光纤通信工程路由设计	211	10.2	窄带城域接入网技术	266
8.3.4	光缆中继距离计算方法	214	10.2.1	E1/T1 数字化链路	266
8.4	光缆线路施工与验收	216	10.2.2	PSTN 接入网技术	268
8.4.1	网络工程中光缆的选用	216	10.2.3	X.25 接入网技术	268
8.4.2	光缆线路的连接方法	217	10.2.4	FR 接入网技术	270
8.4.3	室外光缆线路施工	219	10.2.5	DDN 接入网技术	270
8.4.4	光缆的接续与安装	220	10.3	宽带城域接入网设计	272
8.4.5	光纤通信工程验收	221	10.3.1	ADSL 接入网设计	272
	习题	222	10.3.2	HFC 接入网设计	274
第 9 章	综合布线系统设计	223	10.3.3	Ethernet 接入网设计	278
9.1	常用网络设备选型	223	10.3.4	EPON 光接入网设计	279
9.1.1	交换设备	223	10.4	无线接入网技术	282
9.1.2	路由设备	227	10.4.1	WLAN 无线局域网 设计	282
9.1.3	安全设备	230	10.4.2	LMDS 固定无线网络 设计	285
9.1.4	服务器设备	231	10.4.3	DBS 卫星通信技术	287
9.1.5	其他设备	235	10.4.4	接入网存在的问题	288

习题	289	11.3.1 城域以太网技术特征	313
第 11 章 城域传输网设计	291	11.3.2 城域以太网体系结构	315
11.1 SDH 骨干传输网络	291	11.3.3 城域以太网设计技术	317
11.1.1 SDH 网络工作原理	291	11.3.4 RPR 城域以太网设计	319
11.1.2 SDH 传输网络接口	293	习题	321
11.1.3 SDH 传输网络的同步	294	第 12 章 国内外主要互联网	322
11.1.4 SDH 传输网设计技术	295	12.1 中国互联网基本情况	322
11.2 DWDM 骨干传输网络	298	12.2 国内主要互联网	323
11.2.1 DWDM 网络工作 原理	298	12.3 ChinaNet 骨干网结构	325
11.2.2 DWDM 网络基本结构	300	12.4 CERNet2 骨干网结构	327
11.2.3 DWDM 网络常用器件	303	12.5 中美俄环球科教网 ——GLORIAD	329
11.2.4 DWDM 传输网络设计	306	12.6 美国国家互联网 ——Internet 2	331
11.2.5 CWDM 在城域网中的 应用	309	习题	332
11.2.6 光传送网络结构与 性能	310	附录 常用网络图标注释	333
11.3 电信级城域以太网设计	313	参考文献	334

第 1 章 网络设计规范与方法

在网络设计中会涉及许多协议与标准，核心标准主要是 ITU-T、IEEE、IETF 三大系列。在数据通信网络设计中，ITU-T 系列标准更接近于城域网物理层的定义，IEEE 系列标准则关注局域网物理层和数据链路层，IETF 标准则更加注重数据链路层以上的规范。

1.1 网络工程概述

1.1.1 系统集成的组成与特点

1. 计算机网络的类型

计算机网络是利用通信设备、通信线路和通信协议，将分布在不同地点，**功能独立的多台计算机互连**起来，通过功能完善的网络软件，实现网络资源共享和信息传输的系统。

根据 IEEE 802 系列标准规定，计算机网络按照地理范围可以分为局域网（LAN）、城域网（MAN）和广域网（WAN），这是最常见的分类方法。网络的其他分类方法如表 1-1 所示。

表 1-1 常见的通信网络分类方法

分类方法	通信网络类型
按地理范围分类	局域网、城域网、广域网
按拓扑结构分类	点对点形、链路形、总线形、星形、树形、环形、网状形、蜂窝形、混合形等
按业务类型分类	计算机网、电信网、电视网、视频监控网、广播网等
按全球大网分类	互联网、因特网、物联网
按信号传输方式分类	广播式网络、点对点网络
按网络协议分类	以太网、SDH、DWDM、RPR、令牌环、Apple Talk、Novell Netware、FDDI、ATM
按交换技术分类	分组交换网、电路交换网
按信号复用分类	时分复用、频分复用、波分复用、码分复用
按接入技术分类	有线：如 Ethernet、ADSL、HFC、PSTN、ISDN、X.25、FR、DDN 等 无线：如 LMDS、MMDS、WLAN、GPRS、3G、VSAT、DBS 等
按通信功能分类	用户驻地网（CPN）、接入网（AN）、交换网（如 IP 网）、传输网（如 SDH、DWDM）
按通信性质分类	业务网：如 PSTN、X.25、ISDN、DDN、PLMN、ChinaNe 等 支撑网：如 7 号公共信令网、电信管理网、数字时钟网等

2. 系统集成的组成

美国信息技术协会 (ITAA) 对系统集成 (SI) 的定义是：**根据一个复杂的信息系统或子系统的要求，验证多种技术和产品，并建立一个完整的解决方案的过程。**

根据以上定义，系统集成的对象是信息系统或子系统。可以将“信息系统”分解为网络系统、硬件系统和软件系统3大部分（见图 1-1），这3大部分有各自独立的功能，也相互关联。系统集成技术贯穿于系统集成工作的全过程。

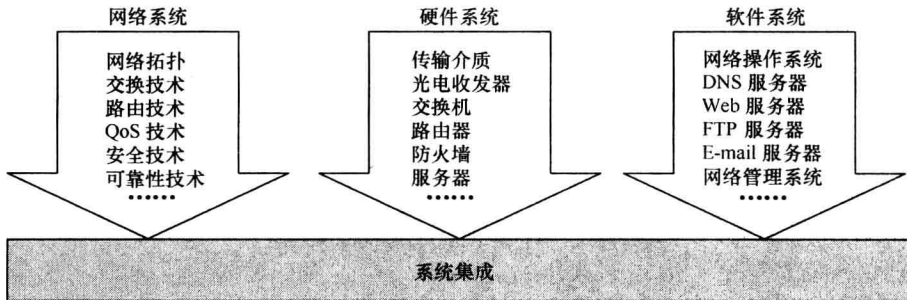


图 1-1 系统集成的组成

3. 系统集成的复杂性

如图 1-2 所示，一个大型系统集成项目的复杂性体现在**技术、成员、环境、约束**4个方面，它们之间互为依存关系。

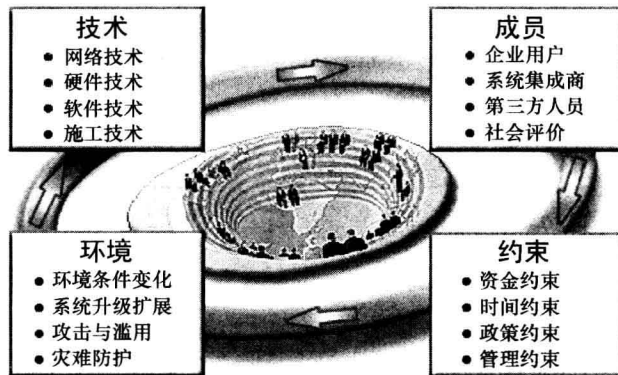


图 1-2 系统集成的复杂性

(1) 实现技术的集成性。系统集成涉及网络技术、硬件技术、软件技术和施工技术4个方面的有机融合，这增加了系统的复杂性。例如，在系统集成工程中选择 IBM 公司的大型专业服务器，也就意味着选择了 UNIX 软件平台，相应的网络技术和应用软件也会随之变化。

(2) 成员目标的复杂性。系统集成涉及用户、系统集成商、第三方人员（如专家、项目监理人员）和社会评价部门（如关联企业、政府部门），它们之间既有共同的目标，也有不同的期望。系统集成项目的最终成功虽然是符合各方利益的，但用户期望这是一个低投入、高回报的项目；系统集成商则期望项目能够高效率进行，而且带来高利润；第三方人员则希望项目能够保证高性能和高品质，以减少自己的责任风险；关联企业则希望不要引起自己系统

工作模式的改变。因此，一个系统集成项目需要各方全力协作。

(3) 应用环境的不确定性。系统集成应当考虑到项目今后环境发生的变化，如电力不足，用户办公环境改造，城市建设改造等问题；还要考虑到企业由于计算机使用人员的增加，对系统造成的压力，以及系统的升级改造。另外，系统外部的攻击、内部人员的滥用（如多线程下载），也会给系统带来不确定的变化因素。

(4) 约束条件的多样性。系统集成还会受到资金、时间、政策、管理等条件的约束。其中最大的约束条件是资金问题，几乎所有系统集成项目都会受到它的约束。

4. 多种技术和产品的集成

按照 ITAA 定义，系统集成包含多种产品和技术。

系统集成不是选择最好的产品和技术简单行为，而是要**选择最适合用户需求和投资规模的产品和技术**。这些不同的产品和技术可能是成熟和流行的技术，也可能是一种新产品和新技术，将它们集成在一个系统内时，需要“验明”系统集成的可行性。

对于硬件设备，系统集成的验明工作在于解决不同产品之间的兼容性问题。例如，在一个网络系统中，可能采用 H 公司的交换机和 C 公司的路由器，因此只要解决了它们之间的兼容性问题，就可以实现多个设备之间的互连。

对于软件产品，系统集成的验明工作，在于解决不同软件之间输出数据格式的转换问题。例如，某个公司总部采用 Linux 操作系统和 Oracle 数据库，而在另一地的子公司采用 Windows 操作系统和 MS SQL Server 数据库，它们之间的数据交换就需要一种双方都能接受的中间文件格式，如 TXT 文本格式或 HTML 格式。

对于网络系统，系统集成的验明工作在于解决不同系统之间的信号交换和路由问题。例如，大部分企业采用以太网技术；ISP（因特网服务提供商）可能只提供 ASDL（非对称数字用户线路）接入技术；电信运营商则可能采用 SDH（同步数字系列）技术进行信号转发；信号在国家主干链路上传输时，则可能采用 DWDM（密集波分复用）传输技术。可见，IP 数据包在传输过程中经历了多种信号的交换和路由。

由于多种产品和技术源于不同的标准或行业要求，将它们集成在一起时，有许多问题需要解决。系统集成不是简单的设备供货，它更多体现了设计、调试与实施等行为。

1.1.2 网络工程的特点与要求

计算机网络工程的目的是建立一套满足用户需求，性能价格比较高，完整可行的计算机网络硬件和软件应用平台。

1. 网络工程的特点

工程是指按计划进行的规范性工作。一个网络工程项目具有以下特点。

(1) 网络工程要有非常明确的目标，这个目标在工程开始之前就需要确定，在工程进行中不要轻易进行大的更改。

(2) 网络工程要有详细的规划或设计，设计可以分为不同的层次，有些设计比较概括（如总体设计），有些设计非常具体（如系统实施方案）。

(3) 网络工程要有权威的依据，如国家标准、国际标准、行业标准或地方标准。

(4) 网络工程要有完备的技术文档, 如可行性论证报告、用户需求分析报告、项目总体设计方案、子项目具体设计方案、项目实施方案、项目验收方案和系统运行维护方案等。

(5) 网络工程要有固定的责任人, 并有完善的实施机构。例如, 用户方的项目负责人, 系统集成商组成的项目小组, 第三方的项目监理人员等。

2. 网络工程的内容

一个成功的网络系统建立过程, 需要解决以下一些问题。

- (1) 用户需要一个什么样的网络系统?
- (2) 如何构建一个满足用户需求的网络系统?
- (3) 建立一个满足用户需求的网络系统需要投入多少资金?
- (4) 最适合用户的网络系统结构是什么?
- (5) 选择什么样的网络硬件设备?
- (6) 选择什么样的网络操作系统和网络服务器软件?
- (7) 网络系统应当提供哪些功能?
- (8) 网络系统的性能如何?
- (9) 网络系统的可靠性如何?
- (10) 网络系统的安全性如何?
- (11) 网络系统的扩展性如何?
- (12) 建立什么样的网络管理机制?

具有表演功能的网络系统很容易建立, 但要达到网络系统规定的设计目标则是一项困难的工作。在网络系统应用的初期, 用户只使用了网络的部分功能。如果网络中传输的数据量较小, 网络系统中存在的问题不会马上暴露出来。随着网络系统应用的深入, 网络信息量会不断增大, 网络系统设计中存在的问题将逐渐显露出来。如果网络结构设计不合理, 服务器数据处理能力差, 网络传输速率低, 那么随着网络用户数量的增加, 以及网络共享数据量的增加, 网络系统性能将会不断下降。失败的网络系统都存在一个共同的问题, 那就是忽视或根本没有做好网络系统设计工作。

3. 网络工程的专业定位

网络工程专业长期以来定位不明确, 一些常见的困惑是: 网络工程专业与计算机科学技术专业有什么区别? 与通信工程专业是什么关系? 要不要培养程序设计能力等。作者认为, 按照 TCP/IP 网络模型进行专业分工是解决以上问题的一个很好方案, 下面以图 1-3 所示内容进行简单说明。

TCP/IP 模型	网络工程专业定位			基础知识		常用技术	
应用层	网络应用 其他 专业	软件开发 科学技 术专业	网络服务 网络工 程专业	C/S 工作模式 域名结构 脚本语言 Socket 接口	Windows Linux FreeBSD Cisco IOS	DNS 服务器 Web 服务器 E-mail 服务器 FTP 服务器	AAA 认证 加密/解密 DNS 负载均衡 网络管理
传输层	网络工程专业			TCP 协议原理	接口编程	防火墙配置	流量监测
网络层				IP 协议原理 路由算法理论	地址规划 静态路由	OSPF、RIP IS-IS、BGP	策略路由 QoS 配置
网络接口层	物联网 网络工 程专业	局域网 网络工 程专业	广域网 通信工 程专业	通信基础知识 以太网原理 光通信原理 无线通信知识	交换机配置 WLAN 技术 VoIP 技术 SAN 技术	设备选型 网络测试 综合布线 机房建设	以太网技术 城域网技术 广域网结构 物联网技术

图 1-3 网络工程的专业定位

(1) 应用层。网络应用层的主要工作可以分为3个方面：网络应用、网络程序开发和网络后台服务。

网络应用的主要工作有：电子商务、网站设计、论坛管理和客户端应用等。这方面的工作主要由其他相关专业处理较为合适，如网站风格设计、美术专业比网络工程专业更为合适；如电子商务的重点是商务，而不是网络这种形式，因此市场营销专业更为合适。

应用层软件开发、数据库管理等工作，由软件工程专业、计算机科学技术专业做更为合适。因为要求软件开发工程师去处理一个网络负载均衡问题，是一件令人痛苦的事情；而要求网络工程师做一个软件需求分析报告，同样是一件不靠谱的事情，毕竟分工不同，术有专攻。

应用层的网络服务工作主要有：各种服务器软件（如DNS、Web、E-mail等）的配置与管理、网络性能优化、网络安全管理和网络故障处理等，这些工作由网络工程专业处理较为合适，因为它与TCP/IP模型其他层的诸多技术密切相关。

(2) 传输层和网络层。传输层和网络层的主要功能是：数据包的交换转发和路由的选择等，它涉及的工作有：带宽规划、流量控制、拥塞控制、负载均衡和数据安全等，这些都是网络工程专业的主要工作职责。如果网络工程专业需要编程能力，那也必须是网络层的嵌入式程序开发（如路由算法编程），而不是应用层与传输层之间的Sockets接口编程。

(3) 物理层。物理层的工作可以分为3个部分：一是物联网感知层的硬件和软件开发，这些工作大多涉及嵌入式开发等内容，由网络工程和电子工程专业人员共同开发较为合适；二是局域网的设计、施工与管理工作，这是对网络工程师的基本素质要求；三是城域网与广域网的设计、工程实施和业务管理等工作，由通信工程专业来做更为合适。

4. 网络工程师的职业技术要求

理解和掌握网络原理与技术是对网络工程师最基本的要求。除此之外，一个成熟的网络工程师还应当具备以下知识结构和工程能力。

(1) 网络技术知识结构。熟练掌握VLAN划分，流量控制，负载均衡，路由协议配置，防火墙设置等主要网络配置技术。掌握网络安全和管理技术，网络数据存储备份技术，网络系统备份与恢复技术，网络故障测试和处理技术，网络性能优化技术等。

(2) 硬件技术知识结构。熟练掌握PC服务器等网络设备的主要技术参数，设备的接口形式与兼容性，设备的互连与调试方法。掌握网络布线设备与规范，并能将不同的网络设备与技术集成在一个工程系统中。

(3) 软件技术知识结构。掌握Windows Server、Linux、Cisco IOS等网络操作系统的安装与配置方法。熟练掌握DNS、Web、FTP、邮件等服务器软件的安装与配置方法。掌握常用网络工程软件的使用方法。

(4) 工程设计能力。网络工程师应当能够评估目前流行的和正在出现的网络技术，预测技术的发展方向，评估计算机新技术的可能应用。

没有文档的设计只是一个设想。简单的文档只能说明网络工程师能力不足，并不能表明设计方案的简单性。工程项目往往要求在极短的时间内写作和整理大量的技术文档（如标书文档），这项工作往往是衡量一个网络工程师是否成熟的重要标志。

很多网络工程项目往往是经典案例的简化应用（如大学校园网建设等），因此网络工程师应当熟练掌握数个网络工程**经典设计案例**，分析这些案例的具体优点和不足，它们的应用对象和投资力度。

(5) 工程管理能力。网络工程师应当具备组织和实施一个完整网络工程的能力。应当能把握网络工程的方案评审、工程实施与监理、系统测试与验收等关键环节。具备与不同用户进行沟通的能、独立解决问题的能力 and 很强的团队协作精神。

1.1.3 网络工程的集成步骤

网络工程师应当很好地掌握和应用网络系统集成技术，通过认真分析与设计，建立一个高性能、高可靠、实用的网络系统。网络工程的集成步骤如图 1-4 所示。

1. 网络系统规划

在网络规划工作中，用户需要组织技术专家对网络系统的可行性进行论证，论证网络系统是否具备建设的客观条件。在可行性论证过程中，用户要明确提出自己的应用需求、建设目标、网络系统的功能、技术指标、现有条件、工期和资金预算等方面的内容。可行性论证结束后，要形成“可行性论证报告”，作为网络工程的纲领性文件。

2. 网络系统设计

网络系统的承建者（集成商）在进行用户需求调查后，在用户配合下，对网络系统的用户需求进行调查，以确定网络工程应具备的功能和达到的技术指标。

网络工程集成商应当根据用户的需求，对网络工程建设范围、建设目标、建设原则、总体技术思路和投资规模等问题给出概括性的回答。

接下来，网络工程集成商进行系统设计。这项工作是要对网络工程的具体问题给出明确的、可行的、系统的解决方案。设计工作结束后，要形成《网络系统总体设计方案》（也称为《网络工程设计说明书》），用户应当聘请第三方专家对设计方案进行评审。

3. 网络系统实施

(1) 实施计划。网络工程进入实施阶段后，集成商要制订一个详细的实施计划。计划要有明确的时间安排，分期达到的目标，施工方式，资金使用预算，竣工验收方法等内容。网络工程实施计划必须是规范的技术文档，它是工程实施的基本依据。

(2) 设备选型。集成商根据设计方案的技术要求，选择合适型号的设备与软件，如路由器、交换机、防火墙、服务器、布线系统、存储设备、网络操作系统、网络管理系统等。

(3) 综合布线。这一阶段的核心工作是进行网络综合布线，设备安装调试，软件环境的配置，以及系统测试等工作。

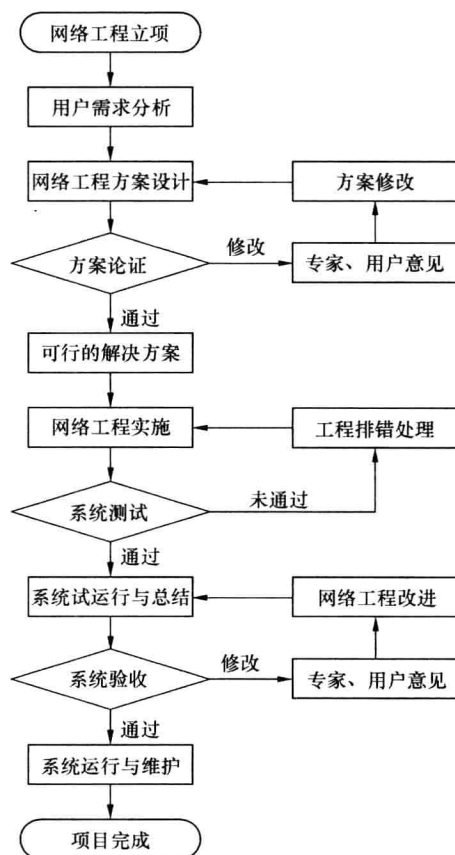


图 1-4 网络工程集成的步骤

4. 网络系统验收

网络工程基本完工后，应当进行系统试运行工作，以及工程文档整理工作。如果试运行的网络系统满足“设计说明书”和“工程合同”要求，就可以进行系统验收工作了。验收工作包括以下几方面的内容。

- (1) 所选设备质量是否合格的，能否达到用户要求；
- (2) 网络综合布线是否合理、规范的，以及留有扩展空间；
- (3) 硬件设备安装调试是否正常，各种应用环境是否已经实施或模拟实施；
- (4) 系统软件和应用软件能否实现相应功能，并已经进行系统快速恢复测试；
- (5) 网络系统的测试方法是否遵循相关标准进行，测试参数是否合格；
- (6) 网络工程文档是否完整、规范、齐全；
- (7) 用户培训教材、时间、内容、地点是否合适等；
- (8) 工程验收完成后，应当形成《网络工程验收报告》。

1.1.4 网络工程常用工具软件

网络工程师需要了解和掌握一些常用网络操作系统，如 Windows Server、Linux、Cisco IOS 等。网络工程师还需要掌握一些常用网络服务配置和优化方法，如 DNS 服务器配置、Web 服务器配置、FTP 服务器配置、E-mail 服务器配置等。网络工程常用软件如表 1-2 所示。

表 1-2 网络工程常用软件

软件类型	软件名称	软件说明
网络操作系统	Windows Server	微软公司网络操作系统
	Red Hat Linux	红帽子公司网络操作系统
	FreeBSD	美国伯克利分校 UNIX 操作系统
	Cisco IOS	思科公司网络设备操作系统
服务器软件	Apache	应用最多的 Web 服务器开源软件 (Linux/Windows)
	IIS	微软公司 Web、FTP 服务器
	IPTables	Linux 下的企业级防火墙软件
	ISA Server	微软公司企业级软件防火墙
	Exchange Server	微软公司大型邮件服务器
	Heartbeat	Linux 操作系统下的高可靠集群和负载均衡软件
	VMware Workstation/Server	VMware 公司虚拟机软件 (Linux/Windows)
网络管理软件	HP Open View	大型网管软件，拓扑图、性能分析、故障分析等
	Ciscoworks	思科公司的中小型网络管理软件
	MG-SOFT MIB Browser	浏览多个厂商设备的 MIB 库，管理 SNMP 设备
	MRTG	网络流量监控自由软件 (Linux)
	NetIQ Chariot	NetIQ 公司网络和网络设备性能测试软件
	Backup Exec	赛门铁克公司服务器综合备份软件
网络工具软件	Microsoft Office Visio	网络拓扑图设计和布线图设计
	Packet Tracer	思科开发的交换机、路由器、无线网络模拟实验软件
	GNS3	思科路由器、交换机、PIX 防火墙模拟实验软件

说明：网络工程师应当通过实验了解和掌握以上软件的功能和使用方法。

1.2 网络工程设计规范

标准是一组规定的规则、条件或要求。成功的标准应当能够满足用户的实际需求,没有实际用途的标准是没有生存空间的。

1.2.1 网络标准的制定

1. 标准制定的目的

网络标准所以重要,原因之一是目前网络工程所使用的硬件和软件种类繁多,如果没有标准,可能会导致一种设备与另一种设备不兼容,或者一个应用软件不能与另一个应用软件进行数据交换。原因之二是通过标准或规范,不同厂商可以确保产品和服务达到公认的规定品质。原因之三是为了保护标准制定者的利益。原因之四是降低系统集成商的开发成本,同时也降低了用户维护和扩展系统的成本。

2. 标准制定过程中的利益群体

标准的制定往往源于利益集团的需求,不同的利益集团往往会推出不同的标准。典型的标准组织是 ITU (国际电信联盟) 和 IEEE (国际电气与电子工程师协会), ITU 为联合国官方组织,它制定的标准更多地反映了各国电信运营商的利益; IEEE 是世界上最大的民间工程师组织,它制定的标准大部分反映了各个设备制造厂商的利益。在标准制定过程中,用户的作用并不明显,因为一旦标准组织由厂商和用户组成,双方都会把自己的意愿加入到标准中。由于双方的利益存在根本性的冲突(如知识产权问题),因此有可能出现激烈的争吵,因此**标准是各方利益博弈的结果**。

3. 标准的两面性

对于厂商而言,标准有它的两面性:一方面厂商必须保证他们的产品符合标准;另一方面他们又必须进行产品创新,以使自己的产品与众不同。有时厂商会去掉标准中一些不重要的部分,以达到降低产品成本的目的。一些主要网络设备生产厂商的产品质量较高,而且市场占有份额很大,这会促使其他厂商围绕大厂商的企业标准来设计自己的产品。

4. 计算机网络标准的分布

计算机网络标准制定组织主要有: ITU-T (国际电信联盟标准化部门), IEEE 和 IETF (因特网工程任务组)。如图 1-5 所示, ITU-T 和 IEEE 制定的网络标准主要集中在物理层和数据链路层, ITU-T 主要着重于制定城域网和广域网通信标准, IEEE 主要着重于制定局域网标准。 IETF 则主要制定网络层、传输层和应用层的网络标准。