



“十三五”

国家重点图书出版规划项目

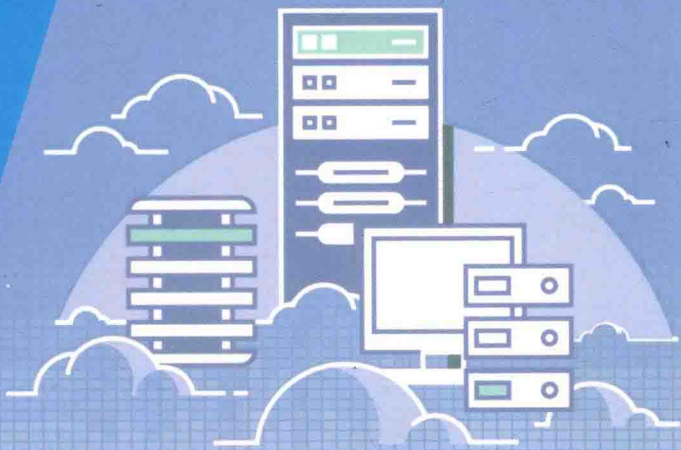
ICT认证系列丛书



华为信息与网络技术学院指定教材

数据存储技术

林康平 孙杨 / 编著



LEADING NEW ICT



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

★ ★ ★
“十三五” ★

国家重点图书出版规划项目
ICT认证系列丛书



华为信息与网络技术学院指定教材

数据存储技术

林康平 孙杨 / 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

数据存储技术 / 林康平, 孙杨 编著. — 北京 :
人民邮电出版社, 2017. 11
(ICT认证系列丛书)
ISBN 978-7-115-45652-6

I. ①数… II. ①林… ②孙… III. ①数据管理—教材 IV. ①TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第223596号

内 容 提 要

本书是华为 ICT 学院数据存储技术官方教材, 旨在帮助学生学习数据存储技术的基本概念和原理以及存储系统的搭建和使用。

本书从信息传递方式的变迁引出数字化信息管理与存储的概念, 进而概述存储系统构成和存储基础技术, 再以磁盘阵列技术作为案例来阐述在同一存储设备上获得性能、容量、可用性三方面提升的设计思路; 接下来从存储接口、传输协议、关键技术和功能支持等方面讨论几类存储系统, 包括直接连接存储、存储区域网络、网络附加存储、海量存储和灾备存储等。

本书不仅适用于华为 ICT 学院的学生, 同样适用于正在备考 HCNA-Storage 认证, 或者正在参加 HCNA-Storage 技术培训的学员进行阅读和参考。其他有志于从事 ICT 行业的人员和数据存储技术爱好者也可以通过阅读本书, 加深自己对数据存储技术的理解。

-
- ◆ 编 著 林康平 孙 杨
责任编辑 李 静
责任印制 彭志环
 - ◆ 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>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19.5 2017 年 11 月第 1 版
字数: 403 千字 2017 年 11 月北京第 1 次印刷

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

序

物联网、云计算、大数据、人工智能等新技术的兴起，推动着社会的数字化演进。全球正在从“人人互联”发展至“万物互联”，未来二三十年，人类社会将演变成以“万物感知、万物互联、万物智能”为特征的智能社会。

新兴技术快速渗透并推动企业加快数字化转型，企业业务应用系统趋于横向贯通，数据趋于融合互联，ICT 正在成为企业新一代公共基础设施和创新引擎，成为企业的核心生产系统。据华为 GIV（全球 ICT 产业愿景）预测，到 2025 年，全球的连接数将达到 1 000 亿，85% 的企业应用上云，100% 的企业会联接云服务，工业智能的普及率将超过 20%。数字化发展为各行业带来的纵深影响远超出想象。

作为企业数字化转型中的关键使能者，ICT 人才将站在更新的高度，以更为全局的视角审视整个行业，并依靠新思想、新技术驱动行业发展。因此，企业对于融合型 ICT 人才需求也更为迫切。未来 5 年，华为所领导的全球 ICT 产业生态系统对人才的需求将超过 80 万。华为积累了 20 余年的 ICT 人才培养经验，对 ICT 行业发展现状及趋势有着深刻的理解。面对数字化转型背景下的企业 ICT 人才短缺，华为致力于构建良性的 ICT 人才生态。2013 年，华为开始与高校合作，共同制定 ICT 人才培养计划，设立华为信息与网络技术学院（简称华为 ICT 学院），依据企业对 ICT 人才的新需求，将物联网、云计算、大数据等新技术和最佳实践经验融入到课程与教学中。华为希望通过校企合作，让大学生在校园内就能掌握新技术，并积累实践经验，促使他们快速成长为有应用能力、会复合创新、能动态成长的融合型人才。

教材是知识传递、人才培养的重要载体，华为聚合技术专家、高校教师倾心打造 ICT 学院系列精品教材，希望帮助大学生快速完成知识积累，奠定坚实的理论基础，助力同学们更好地开启 ICT 职业道路，奔向更美好的未来。

亲爱的同学们，面对新时代对 ICT 人才的呼唤，请抓住历史机遇，拥抱精彩的 ICT 时代，书写未来职业的光荣与梦想吧！华为，将始终与你同行！

前 言

人类通过识别自然界和社会的不同信息来区分不同事物，进而认识世界和改造世界。信息技术推动社会向前发展，21 世纪以来，信息技术的不断进步加速了全球化进程，产业格局也随之发生颠覆性变化。随着智能终端、互联网、物联网、云计算、社交网络的飞速发展，数据量呈现日益剧增趋势。图灵奖获得者 Jim Gray 曾提出一个经验定律：“网络环境下每 18 个月产生的数据量等于有史以来数据量之和”，到目前为止，数据量的增长基本满足这个规律；另外，数据已成为一种新的生产要素，与土地、劳动力、技术、资本、管理等要素相提并论，数据的价值进一步凸显。如果数据出现丢失或损坏，不仅会造成经济损失，而且会影响企业发展。调查显示，全球每年有近百万企业因数据丢失而倒闭。因此，怎样安全可靠地存储大规模数据成为存储系统设计者面临的一大挑战。

过去几十年中，存储设备面临以下三个挑战：（1）性能挑战。尽管单个存储设备的性能得到很大发展，但其发展速度仍赶不上处理器和网络的性能增长速度；（2）容量挑战。单个存储设备的容量在快速增长，却依然无法满足新兴应用的需求；（3）可用性挑战。由于存储介质单位容量密度提高，存储设备出现错误数也增多，而容量增长往往会放大存储数据的出错概率，进而影响到数据可用性。针对此，按照冗余放置、分散布局等方法来组织和管理存储数据，已成为构建高性能、大容量、高可用性存储系统的一种技术趋势。

因此，过去十几年，数据存储相关技术 [如磁盘阵列 (RAID)、存储区域网络 (SAN)、网络附加存储 (NAS) 等] 得到越来越广泛的关注，并成为科研界和产业界的研究热点。在传统存储系统结构中，存储子系统仅仅被视作主机/服务器的外围 I/O 设备；而现有存储系统则是具有计算处理单元、数据存储空间和网络传输部件的独立计算机系统，能够提供独立的数据存储服务。案例一，主机硬盘的容量扩展性和空间利用率受到限制，影响系统整体性能的提升，存储阵列技术的出现很好地解决了这一不足，其通过使用多磁盘并行存取数据来大幅提高数据吞吐率；通过数据校验来支持容错功能，提高存储数据的可用性。案例二，分布式存储系统在系统层面采用高速网络技术连接多个存储设备或者存储服务器，并融合多种存储技术，如存储虚拟化、负载均衡、副本冗余等，从而为大数据、云计算、电子商务等新兴应用领域提供高可管理性、高可扩展性、高可靠性的存储解决方案。

目前, 存储领域的文献资料, 要么为科研界所关注的存储原理研究和技术探索, 要么为产品界所侧重的技术开发文档和产品功能介绍。对于大数据存储领域, 国内外都缺乏从“技术研究和产品开发”两个方面来介绍存储系统的教材, 而兼顾“存储基础原理及相关存储产品支撑技术”正是本书的撰写初衷。

本书主要内容

本书整体分为两个部分: 第一部分(包括第 1~5 章)从信息传递方式的变迁引出数字化信息管理与存储的概念, 进而概述存储系统构成和存储基础技术, 最后以磁盘阵列技术作为案例来阐述“在同一存储设备上获得性能、容量、可用性三方面提升”的设计思路; 第二部分(从第 6~12 章)从存储接口、传输协议、关键技术和功能支持等方面来讨论几类存储系统, 包括直接连接存储、存储区域网、网络附加存储、海量存储和灾备存储等。

本书各章结合实际存储产品以实例方式来细致描述存储系统的设计方案和开发思路, 有助于读者加深理解数据存储技术及其特点, 相信本书能为存储系统原理研究、技术开发和产业发展提供一定帮助。本书主要面向信息存储领域的从业者, 对专业研究者和各大院校计算机系统结构专业师生有一定的参考作用。

第 1 章 信息数据管理

信息泛指人类社会传播的一切内容。人类通过获取、识别自然界和社会的不同信息来区别不同事物, 在此基础上认识世界和改造世界。人类社会的文明发展史也是一部信息技术发展史, 人类经历了五次信息革命, 使得信息的传递和存储超越了时间和地域的限制, 而不断积累的信息则推动社会向前发展。本章主要介绍信息基本概念, 重点阐述信息及信息存储的重要性。

第 2 章 存储系统介绍

在著作《The World Is Flat》中, 美国作家托马斯·弗里德曼(Thomas L. Friedman)阐述了一个观点: 21 世纪以来, 信息技术的不断进步加速了全球化进程。随着信息化程度的不断提高, 人们的生活已经和信息技术密不可分。信息进行传输和处理可称为“动”; 诚然, 有“动”必有“静”, 信息保存在存储介质可称为“静”, 本章将对存储系统进行详细的介绍。

第 3 章 存储技术和组网

随着网络信息化时代的到来, 智能终端、物联网、云计算、社交网络等行业飞速发展, 数据呈现日益剧增趋势, 怎样安全地、可靠地存储大规模数据成为存储系统设计的一大挑战。本章以存储阵列为例, 围绕存储容量扩展、数据安全性、数据可靠性来阐述存储阵列组网技术。

第4章 传统磁盘驱动器的读写技术

20世纪80年代以来, CPU处理性能的提升速度远高于磁盘驱动器的数据传输率的增长速度, 两者性能上的不匹配严重制约了系统整体性能的提升, 而RAID技术的出现很好地缓解了这一矛盾。RAID通过使用多磁盘并行存取数据来大幅提高数据吞吐率; 另外, 通过数据校验, RAID可以提供容错功能, 提高存储数据的可用性。目前, RAID已成为保障存储性能和数据安全的一项基本技术。本章主要讲述传统RAID技术的相关知识。

第5章 RAID 2.0+技术

硬盘容量快速增长, 而读写速度却增长缓慢, 按照传统RAID组重构方式, 重构时间将大幅增加, 从而导致“重构时间增加, 重构期间硬盘故障概率增加, 数据丢失风险随之增大”这一问题。针对此, 一些存储公司将磁盘阵列从基于磁盘的RAID发展成基于块虚拟化的RAID 2.0/RAID 2.0+技术, 不仅大大降低重构时间, 提高系统可靠性, 而且充分满足虚拟机环境对存储的应用需求。本章重点介绍RAID 2.0/RAID 2.0+技术, 特别是RAID 2.0+技术的工作原理。

第6章 DAS 技术介绍

直接连接存储(Direct Attached Storage, DAS)是一种将存储设备通过电缆直接连接到主机服务器上的一种存储方式。数据存储设备采用SCSI或FC协议直接连接在内部总线上, 构成整个服务器结构的一部分。本章介绍直接连接存储的相关内容, 以及存储系统中基本而常用的SCSI协议。

第7章 SAN 技术介绍

存储区域网络(Storage Area Network, SAN)是一种面向网络的、以数据存储为中心的存储架构。SAN采用可扩展的网络拓扑结构连接服务器和存储设备, 并将数据的存储和管理集中在相对独立的专用网络中, 向服务器提供数据存储服务。以SAN为核心的网络存储系统具有良好的可用性、可扩展性、可维护性, 能保障存储网络业务的高效运行。

第8章 常用存储高级技术

随着信息技术的发展, 企业数据量增多, 很多企业考虑购置或已经购置满足需求的存储产品; 然而, 在存储产品使用过程中常常会面临存储空间浪费、存储性能低下、数据丢失等问题。本节的存储高级技术涉及提高空间利用率、提升存储性能、增强数据可用性等方面, 掌握本章知识有助于系统架构师在前期规划、中期实施、后期优化中最大化利用存储资源以满足用户需求。

第9章 NAS 技术介绍

网络附加存储(Network Attached Storage, NAS)是基于IP网络、通过文件级的数据访问和共享提供存储资源的网络存储架构。本章主要介绍NAS产生与发展的背景以及NAS的组成与部件, 重点介绍NAS文件共享协议CIFS和NFS, 并概括NAS与SAN两者

的区别。

第 10 章 大数据存储基础

博客、社交网络、云计算、物联网等新兴服务促使人类社会的数据种类和规模以前所未有的速度发展，大数据时代正式到来，而数据也从一种简单处理对象转变为基础性资源。一方面，如何更好地存储、管理、分析和利用大数据已成为科研界和产业界共同关注的话题；另一方面，大数据的规模效应给数据存储、管理及分析利用带来了极大的技术挑战。本章主要介绍大数据的由来、定义、组成、特征以及处理方式等，并概述大数据的相关知识和大数据管理系统的设计需求。

第 11 章 容灾备份技术基础

随着 IT 技术的广泛应用，各类应用系统均对存储提出了安全性需求和业务连续性需求。为了增强数据安全性，企业需要使用数据备份技术。为了保障业务连续性和系统可用性，企业需要使用容灾技术。本章主要介绍容灾和备份的技术基础。

第 12 章 存储系统配置、运维和管理

当企业、政府、研究所等机构购买存储设备或存储系统后，往往需要进行配置与部署。具体地，在使用存储系统时，为了保证业务能正常、顺利地运行，往往需要人为参与管理；而存储系统在运行过程中，可能会遇到因操作不当等因素而引起的人为故障，导致业务中断，甚至数据丢失，造成巨大的损失。因此，掌握存储系统的配置、运维和管理方法是至关重要的，本章详细介绍这些方法。

本书配套资源

从理论到实战为高校提供贴合实际应用的定制化教学学习资源。

- 实验手册：教材配套实验材料，助力读者动手能力的提升，以实验促进读者对理论知识理解。
- 视频讲解：教材配套重点知识讲解小视频，帮助读者更好地理解书中的重难点，相关视频可到华为 ICT 学院官方网站进行观看。
- 授课 PPT：教材配套授课材料，方便高校授课，提升教师备课效率。
- 综合实训：教材配套实训课程，还原真实项目，提升读者应对实际项目的能力。

关于本书读者

本书定位是华为 ICT 学院数据存储技术官方教材，本书适合于以下几类读者。

- 华为 ICT 学院的学生。
- 各大高校学生。
- 正在学习 HCNA-Storage 课程的学员和正在备考 HCNA-Storage 认证的考生。

- 有志于从事 ICT 行业的初学者。
- 数据存储技术爱好者。

联合创作

本书是由华为技术有限公司联合泰克教育集团、高校专家共同为华为 ICT 学院打造的存储技术官方教材。泰克教育集团自 2003 年成立以来，致力于 ICT 校企合作、课程资源建设和人才培养服务。泰克教育集团秉承“技术为王，服务至上”的理念，连续多年被评为“中国区优秀服务合作伙伴”，为 ICT 人才生态良性发展提供有力的支持。

本书作者

编著：林康平、孙杨

编委人员（排名不分先后）：代劲、黄建忠、强彦、徐来、沈瞰容、陈峰、杨玟珊、李露露

技术审校（排名不分先后）：代锦秀、刘洋、吴万兵、张博、张亮、周源

目 录

第 1 章 信息数据管理	0
1.1 信息技术发展史	2
1.2 数据与信息概述	5
1.2.1 数据的概念	6
1.2.2 信息的概念	7
1.2.3 数据与信息的关系	7
1.3 信息的重要性	8
1.3.1 信息与生活	9
1.3.2 信息与商业	9
1.3.3 信息与工业	10
1.3.4 信息与社会	11
1.4 信息生命周期管理	12
1.5 信息存储的挑战	13
1.5.1 数字信息的增长	13
1.5.2 信息存储的载体	15
1.5.3 存储系统的发展	16
1.6 本章小结	20
练习题	20
第 2 章 存储系统介绍	22
2.1 IT 系统介绍	24
2.1.1 软件资源	25
2.1.2 计算资源	26
2.1.3 网络资源	27
2.1.4 存储资源	28
2.2 存储系统	29
2.2.1 存储层次结构	29
2.2.2 I/O 访问路径	31
2.2.3 文件系统	32
2.3 基本存储设备	35
2.3.1 机械硬盘	36

2.3.2 固态硬盘	44
2.4 存储虚拟化	46
2.4.1 存储虚拟化概述	46
2.4.2 数据块级虚拟化	47
2.4.3 文件级虚拟化	49
2.5 本章小结	50
练习题	50
第3章 存储技术和组网	52
3.1 存储阵列系统	54
3.1.1 阵列系统基本组成	54
3.1.2 存储阵列角色位置	55
3.1.3 存储阵列硬件组成	56
3.1.4 存储阵列级联组网	57
3.1.5 存储阵列扩控组网	60
3.2 存储阵列高可靠和高性能技术	62
3.2.1 存储阵列高可靠性技术	62
3.2.2 存储阵列高性能技术	68
3.3 本章小结	69
练习题	70
第4章 传统磁盘驱动器的读写技术	72
4.1 RAID 基本概念	74
4.2 RAID 技术	76
4.2.1 关键技术	76
4.2.2 JBOD 及 RAID 级别	77
4.2.3 RAID 工作原理	78
4.2.4 RAID 对比和应用	91
4.3 RAID 数据保护	93
4.3.1 热备盘	93
4.3.2 预拷贝	94
4.3.3 失效重构	95
4.3.4 RAID 状态	96
4.4 LUN 虚拟化	97
4.5 本章小结	99
练习题	100

第 5 章 RAID 2.0+技术	102
5.1 RAID 2.0+技术原理	104
5.1.1 RAID 技术发展过程	104
5.1.2 RAID 2.0+基本原理	106
5.1.3 RAID 2.0+体系结构	107
5.2 RAID 2.0+应用	112
5.2.1 负载均衡	113
5.2.2 快速重构	113
5.2.3 故障自检自愈	115
5.2.4 虚拟池化设计	116
5.2.5 LUN 灵活组织	117
5.2.6 空间动态分布	118
5.3 本章小结	121
练习题	121
第 6 章 DAS 技术介绍	124
6.1 DAS 简介	126
6.1.1 DAS 基本概念	126
6.1.2 内置 DAS 形态	127
6.1.3 外置 DAS 形态	127
6.2 DAS 技术特点	128
6.3 SCSI 协议	129
6.3.1 SCSI 协议概览	129
6.3.2 SCSI 通信过程	131
6.3.3 SCSI 协议模型	136
6.3.4 SCSI 读写操作过程	137
6.4 本章小结	139
练习题	139
第 7 章 SAN 技术介绍	142
7.1 SAN 存储基础	144
7.1.1 SAN 概念	144
7.1.2 SAN 组网	146
7.1.3 SAN 组件	148
7.1.4 DAS 和 SAN 区别	149
7.2 FC SAN	150
7.2.1 FC SAN 概念	150

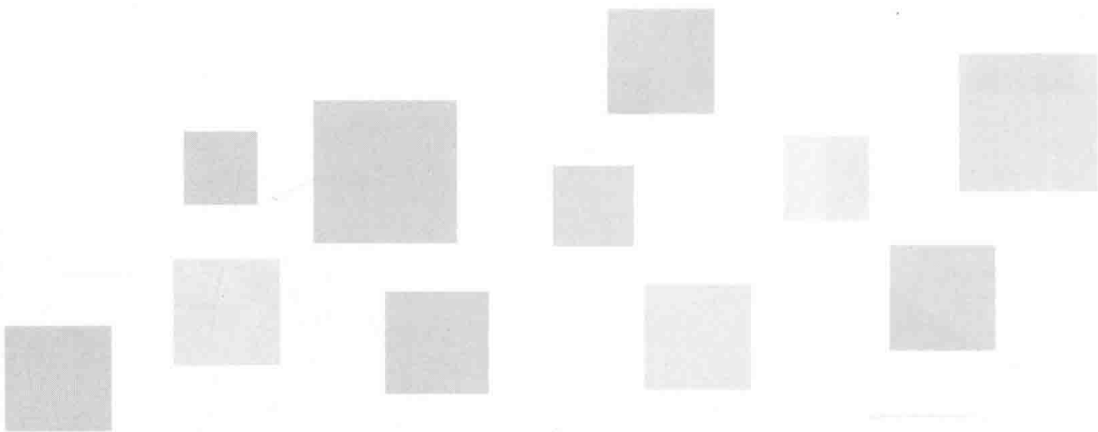
7.2.2	FC 协议栈	151
7.2.3	FC 与 SCSI 协议关系	153
7.2.4	FC 典型组网拓扑和连接设备	153
7.2.5	FC 端口	157
7.2.6	FC 分区 (zone) 的概念	160
7.3	IP SAN	161
7.3.1	IP SAN 概念	161
7.3.2	IP SAN 网络架构的优缺点	162
7.3.3	IP SAN 组网形式	162
7.3.4	FC SAN 和 IP SAN 对比	163
7.3.5	iSCSI 协议栈	164
7.3.6	iSCSI 存储设备与主机连接方式	166
7.3.7	iSCSI 应用场景	168
7.4	FCoE	168
7.4.1	FCoE 产生背景	169
7.4.2	FCoE 协议栈	172
7.4.3	FCoE 应用场景	174
7.5	本章小结	176
	练习题	176
第 8 章	常用存储高级技术	178
8.1	自动精简技术	181
8.1.1	自动精简技术背景	181
8.1.2	自动精简技术原理	181
8.1.3	自动精简技术应用	182
8.2	分层存储技术	183
8.2.1	分层存储技术背景	183
8.2.2	分层存储技术分析	185
8.2.3	分层存储技术应用	186
8.3	Cache 技术	189
8.3.1	Cache 技术背景	189
8.3.2	Cache 技术原理	189
8.4	快照技术	190
8.4.1	快照技术背景	190
8.4.2	快照技术原理	190
8.4.3	快照技术特点及应用	192
8.5	克隆技术	192
8.5.1	克隆技术背景	192

8.5.2 克隆技术原理	193
8.6 远程复制技术	194
8.6.1 远程复制技术背景	194
8.6.2 远程复制技术原理	194
8.7 LUN 拷贝技术	196
8.7.1 LUN 拷贝技术背景	196
8.7.2 LUN 拷贝技术原理	196
8.8 本章小结	197
练习题	197
第 9 章 NAS 技术介绍	198
9.1 NAS 产生与发展	200
9.1.1 NAS 产生背景	200
9.1.2 NAS 概念	201
9.1.3 NAS 网络拓扑	202
9.2 NAS 组成与部件	205
9.3 NAS 文件共享协议	205
9.3.1 CIFS 协议	205
9.3.2 NFS 协议	208
9.3.3 CIFS 与 NFS 协议对比	211
9.4 NAS I/O 访问路径	212
9.5 NAS 和 SAN 的比较	213
9.5.1 NAS 优点	213
9.5.2 NAS 和 SAN 对比	213
9.6 NAS 产品介绍	214
9.7 本章小结	215
练习题	216
第 10 章 大数据存储基础	218
10.1 大数据定义	220
10.2 大数据价值	221
10.2.1 大数据来源	221
10.2.2 大数据内容类型	223
10.2.3 大数据组成	225
10.2.4 大数据价值	226
10.3 大数据特征	227
10.4 大数据处理流程	229

10.5 大数据解决方案	230
10.5.1 互联网大数据解决方案	230
10.5.2 OceanStor 9000 解决方案	232
10.5.3 FusionStorage 解决方案	233
10.6 本章小结	235
练习题	235
第 11 章 容灾备份技术基础	236
11.1 备份简介	238
11.1.1 备份概念及拓扑结构	239
11.1.2 备份技术	246
11.1.3 备份策略的制订	249
11.1.4 典型备份方案	252
11.2 容灾简介	254
11.2.1 容灾概念	254
11.2.2 容灾分类	257
11.2.3 容灾系统衡量指标	257
11.2.4 典型容灾解决方案——两地三中心	259
11.3 本章小结	260
练习题	260
第 12 章 存储系统配置、运维和管理	262
12.1 DeviceManager 介绍	264
12.2 系统初始配置	266
12.3 SAN 存储业务配置	266
12.4 NAS 存储业务配置	270
12.5 存储运维管理	271
12.6 本章小结	276
练习题	277
术语表	278
参考文献	286



第1章 信息数据管理



信息泛指人类社会传播的一切内容。人类通过获取、识别自然界和社会的不同信息来区别不同事物，在此基础上认识世界和改造世界。人类社会的文明发展史也是一部信息技术发展史，人类经历了5次信息革命，使信息的传递和存储超越了时间和地域的限制，而不断积累的信息则推动社会向前发展。本章主要介绍信息的基本概念，重点阐述信息及信息存储的重要性。

学习目标

- 了解信息技术发展史；
- 掌握数据和信息的基本概念，理解数据和信息的关系；
- 了解信息的重要性；
- 了解信息存储的重要性。

1.1 信息技术发展史

在人类发展历程中，物质、能量和信息是支配人类活动的三种不可或缺的要素。当今社会，信息无处不在，它在人类社会生活的各个方面和各个领域被广泛使用。然而对于信息却没有公认的定义。下面列举了一些比较典型和具有代表性的定义，使读者对信息的概念有一个比较全面的认识。

信息就是信息，既不是物质也不是能量。

信息是事物之间的差异。