



第 1 章 云计算概述 / 1

1.1 认识云计算	2	1.4 云交付模型	8
1.1.1 云计算概念	2	1.4.1 基础设施即服务 (IaaS)	9
1.1.2 云计算历史	2	1.4.2 平台即服务 (PaaS)	10
1.1.3 云计算特点	3	1.4.3 软件应用即服务 (SaaS)	11
1.1.4 云计算趋势	4	1.4.4 基本云交付模型比较	12
1.2 云计算体系结构	5	1.4.5 容器即服务 (CaaS)	12
1.2.1 资源层	5	1.5 云部署模式	13
1.2.2 平台层	5	1.5.1 公有云	13
1.2.3 应用层	5	1.5.2 私有云	13
1.2.4 用户访问层	6	1.5.3 混合云	14
1.2.5 管理层	6	1.6 云计算的应用与发展	14
1.3 云计算关键技术	6	1.6.1 云计算与存储	14
1.3.1 分布式海量数据存储	6	1.6.2 云计算与安全	14
1.3.2 虚拟化技术	7	1.6.3 云计算与大数据	15
1.3.3 云平台技术	7	1.6.4 云计算与虚拟化	15
1.3.4 并行编程技术	8	1.6.5 云计算的商业模式	15
1.3.5 数据管理技术	8	1.6.6 云计算的未来发展	16



第 2 章 云计算基础知识 / 17

2.1 云计算架构	18	2.3 虚拟化技术	25
2.1.1 传统的 IT 部署架构	18	2.3.1 虚拟化的定义	25
2.1.2 云计算基础架构	19	2.3.2 虚拟化的内涵	25
2.1.3 云计算、SOA 与分布式计算的比较	21	2.3.3 虚拟化的发展	26
2.2 云计算标准化	22	2.3.4 虚拟化的架构	26
2.2.1 国际标准化现状	22	2.4 虚拟化的类型	28
2.2.2 国内标准化进程	24	2.4.1 ESX	29

2.4.2 Hyper-V	30	2.6.1 Docker 技术	37
2.4.3 Xen	31	2.6.2 Unikernel 技术	39
2.4.4 KVM	32	2.7 云计算其他相关技术	40
2.5 数据存储技术	33	2.7.1 海量数据存储技术	40
2.5.1 Google 文件系统	33	2.7.2 海量数据管理技术	40
2.5.2 Hadoop 分布式文件系统	34	2.7.3 云计算中的并行编程模型	41
2.5.3 键值存储系统技术	35	2.7.4 多租户技术	42
2.6 Docker 技术和 Unikernel 技术	36		



第 3 章 虚拟化基础知识 / 45

3.1 虚拟化概述	46	3.3 存储虚拟化	59
3.1.1 虚拟化概念	46	3.3.1 存储虚拟化的概念	59
3.1.2 虚拟化历史	47	3.3.2 存储虚拟化的特点	60
3.1.3 虚拟化技术分类	47	3.3.3 存储虚拟化技术	61
3.2 服务器虚拟化	49	3.4 网络虚拟化	63
3.2.1 服务器虚拟化的概念	49	3.4.1 网络设备虚拟化	63
3.2.2 服务器虚拟化的体系架构	50	3.4.2 链路虚拟化	63
3.2.3 服务器虚拟化的特征	53	3.4.3 虚拟网络	63
3.2.4 服务器虚拟化的核心技术	54	3.4.4 基于 SDN 的网络虚拟化	64



第 4 章 计算虚拟化 / 65

4.1 计算虚拟化概述	66	4.4.2 XenServer 平台简介	79
4.1.1 计算虚拟化简介	66	4.4.3 XenServer 功能特性	79
4.1.2 计算虚拟化历史	66	4.4.4 XenServer 架构原理	79
4.1.3 计算虚拟化技术类型	68	4.5 Hyper-V 虚拟化技术	81
4.1.4 计算虚拟化技术发展	70	4.5.1 Windows Server 简介	81
4.2 VMware vSphere 简介	70	4.5.2 Hyper-V 功能特性	82
4.2.1 VMware vSphere 和虚拟化基础架构	71	4.5.3 Hyper-V 系统架构	82
4.2.2 VMware vSphere 平台系统架构	75	4.6 KVM 虚拟化技术简介	83
4.2.3 VMware vSphere 组件及其功能	76	4.6.1 KVM 虚拟化技术发展历程	83
4.3 VMware ESXi 概述	77	4.6.2 KVM 与 RHEV	83
4.3.1 VMware ESXi 简介	77	4.6.3 RHEV-H 简介	84
4.3.2 VMware ESX 与 VMware ESXi	77	4.7 容器技术	84
4.3.3 VMware NSX	78	4.7.1 容器技术的发展背景	84
4.4 Xen 虚拟化技术	78	4.7.2 主流容器技术及应用场景	86
4.4.1 Xen 技术概述	78		



第 5 章 网络虚拟化 / 89

5.1 网络虚拟化概述	90	5.4 OpenStack 中的网络虚拟化	125
5.1.1 网络虚拟化的技术背景	90	5.4.1 OpenStack 简介	125
5.1.2 网络虚拟化的基本概念	90	5.4.2 Neutron 网络虚拟化	126
5.1.3 网络虚拟化的基本特征	92	5.4.3 Neutron 网络虚拟化配置实例	133
5.1.4 网络虚拟化的分类	93	5.5 SD-WAN	147
5.2 网络虚拟化技术	94	5.5.1 SD-WAN 概述	148
5.2.1 服务器内部的网络虚拟化技术	94	5.5.2 三种典型的 SD-WAN 应用场景	149
5.2.2 服务器外部网络虚拟化技术	98	5.5.3 SD-WAN 现状及发展	151
5.3 软件定义网络	106	5.6 案例：中国电信基于 SDN 的云资源池	
5.3.1 SDN 的定义与架构	106	网络	152
5.3.2 数据控制分离	110	5.6.1 案例介绍	152
5.3.3 OpenFlow 接口协议	114	5.6.2 商业价值	154
5.3.4 SDN 控制平面	120		



第 6 章 存储虚拟化技术 / 155

6.1 Ceph 简介	156	6.4.1 部署需要准备的系统环境	160
6.1.1 Ceph 定义	156	6.4.2 Ceph 部署的步骤	161
6.1.2 Ceph 特点	156	6.5 分布式文件系统	166
6.2 Ceph 架构	157	6.6 对象存储	168
6.2.1 Ceph 的逻辑层次结构	157	6.6.1 Swift 对象存储	168
6.2.2 RADOS 集群存储节点	158	6.6.2 存储网关技术	168
6.3 Ceph 和 OpenStack	159	6.6.3 对象存储方案简介	169
6.4 Ceph 的部署	159		



第 7 章 桌面与应用虚拟化 / 171

7.1 桌面虚拟化概述	172	7.5 桌面虚拟化通信协议概述	179
7.2 桌面虚拟化应用	172	7.5.1 RDP	180
7.2.1 应用场景及优势	172	7.5.2 ICA 协议	182
7.2.2 实现原理和系统架构	174	7.5.3 PCOIP 协议	183
7.3 应用虚拟化	177	7.5.4 SPICE	184
7.3.1 应用场景	177	7.6 桌面虚拟化主流技术架构	184
7.3.2 实现原理	177	7.6.1 VOI 桌面	185
7.4 VOI	178	7.6.2 共享桌面	185
7.4.1 VOI 基本概念	178	7.6.3 VDI 桌面	186
7.4.2 VOI 的特性	178	7.6.4 IDV 架构桌面	187
7.4.3 VDI 与 VOI 的比较	179	7.7 应用虚拟化与应用程序虚拟化	188

7.7.1 应用虚拟化概述	188	7.8 VMware Horizon View	193
7.7.2 应用虚拟化技术原理与应用	188	7.8.1 VMware Horizon View 概述	193
7.7.3 应用虚拟化的缺点	189	7.8.2 VMware Horizon View 平台系统架构	193
7.7.4 主流技术介绍	189	7.8.3 VMware Horizon View 组件及其功能	194
7.7.5 虚拟桌面架构 (VDI)	191	7.9 Citrix XenDesktop	195



第 8 章 业务链实现技术 / 197

8.1 业务链实现技术概述	198	8.4 云数据中心业务链实现方案	202
8.2 业务链相关概念	198	8.4.1 业务功能的创建过程	203
8.3 IETF SFC 架构简介	199	8.4.2 基于 Traffic Steering 进行业务链引流	204
8.3.1 SFC 包解析	200	8.4.3 API	205
8.3.2 业务功能链的相关动作	201	8.4.4 业务链示例	211



第 9 章 NFV 云部署 / 213

9.1 NFV 概述	214	9.3.2 NFV 管理和编排	218
9.1.1 NFV 定义	214	9.3.3 NFV 软件架构	219
9.1.2 NFV 与 SDN 的关系	214	9.3.4 NFV 可靠性和可用性	219
9.1.3 NFV 的技术基础	214	9.3.5 NFV 性能和可移植性	219
9.1.4 NFV 的挑战	215	9.3.6 NFV 安全	219
9.2 NFV 架构与应用	216	9.4 NFV 性能提升关键技术	220
9.2.1 NFV 架构框架	216	9.4.1 SR-IOV 虚拟化技术	220
9.2.2 NFV 典型示例	216	9.4.2 NUMA 多通道处理	221
9.3 NFV 关键组成	218	9.4.3 DPDK 包处理技术	221
9.3.1 NFV 基础设施	218		

参考文献	222
------------	-----

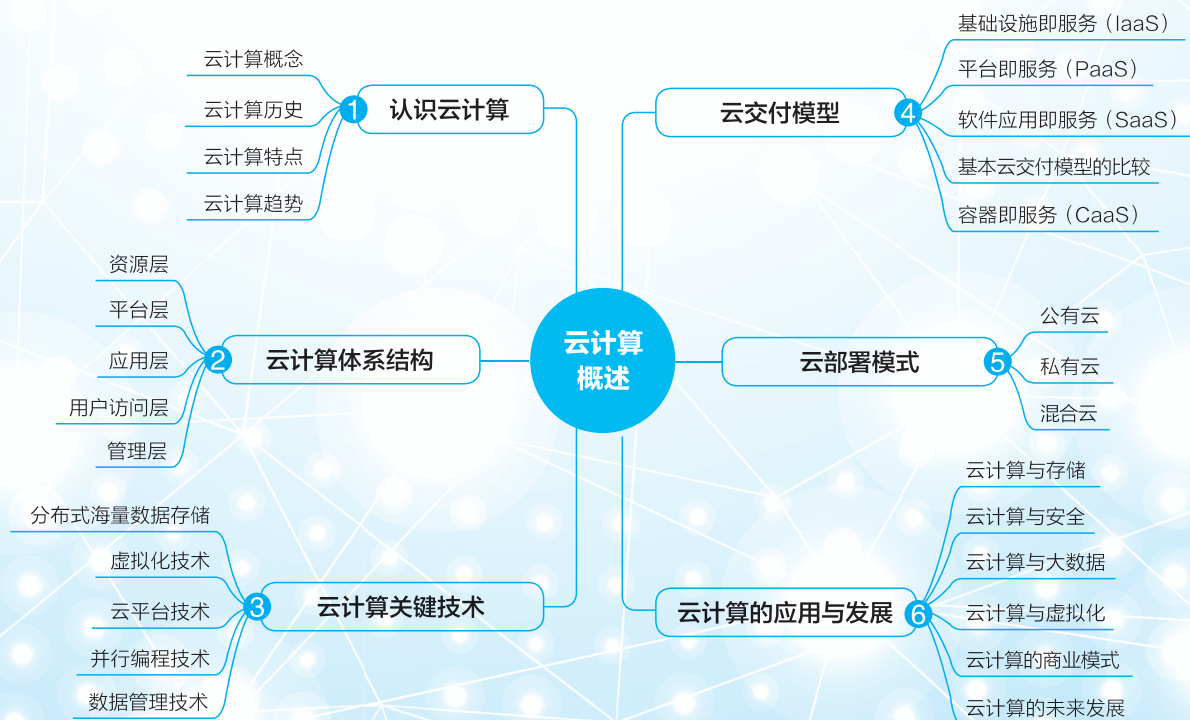
第 1 章

云计算概述

学习目标 >

- 1 了解云计算体系架构。
- 2 了解云交付云部署模式。
- 3 了解云计算的应用与创新。
- 4 熟悉云计算的相关技术。
- 5 掌握云交付的 IaaS、PaaS、SaaS、CaaS 模型。
- 6 掌握公有云、私有云、混合云的应用。

知识导图 >



1.1 认识云计算

1.1.1 云计算概念

云计算（Cloud Computing）是一种新技术，同时也是一种新概念、新模式，而不是单纯地指某项具体的应用或标准。目前，对云计算的定义有多种说法，较为流行的是美国国家标准与技术研究院（NIST）的定义：云计算是一种通过网络，按使用量付费来获取计算资源（包括网络、服务器、存储、应用软件、服务）的模式，该模式只需通过简单的管理和与供应商进行少量的交互，就能达到快速提供资源的目的。维基百科上给是这样定义的云计算：云计算是一种动态的可扩展的而且通常是通过互联网提供虚拟化的资源计算模式。在这种模式下，终端用户不需要了解“云”中基础设施的细节，不必具有相应的专业知识，也无须直接进行控制，只需关注自己真正需要什么样的资源，以及如何通过网络来得到相应的服务即可。

总的来说，云计算是一种模式，它实现了对共享可配置计算资源的方便、按需访问。

1.1.2 云计算历史

云计算的概念从提出到今天，已经有十多年了。在这十多年间，云计算取得了飞速的发展与翻天覆地的变化。

2006年8月9日，Google首席执行官埃里克·施密特（Eric Schmidt）在搜索引擎大会（SESSanJose2006）首次提出“云计算”（Cloud Computing）的概念。这是云计算发展史上第一次正式地提出这一概念，有着巨大的历史意义。

2007年10月，Google与IBM公司开始在美国大学校园包括卡内基·梅隆大学、麻省理工学院、斯坦福大学、加州大学伯克利分校及马里兰大学等，推广云计算计划。这项计划希望能降低分布式计算技术在学术研究方面的成本，并为这些大学提供相关的软硬件设备及技术支持。

2008年1月，Google公司宣布在中国台湾启动“云计算学术计划”，与中国台湾的台大、交大等学校合作，将云计算技术推广到校园的学术研究中。2月，IBM公司宣布将在中国无锡太湖新城科教产业园为中国的软件公司建立全球第一个云计算中心（Cloud Computing Center）。同年，微软发布其公共云计算平台（Windows Azure Platform），由此拉开了微软的云计算大幕。

2009年1月，阿里软件在江苏南京建立首个“电子商务云计算中心”。同年11月，中国移动云计算平台“大云”计划启动。

2011年2月，思科公司正式加入OpenStack，重点研制OpenStack的网络服务。

2013年，我国的IaaS（基础设施即服务）市场规模约为10.5亿元，增速达到了105%，显示出旺盛的生机。在过去几年里，腾讯、百度等互联网巨头纷纷推出了各自的开放平台战略。PaaS（平台即服务）的先行者也在业务拓展上取得了显著的成效，在众多互联网巨头的介入和推动下，中国的PaaS市场得到了迅速发展。无论是国内还是国外，SaaS（软件即服务）一直是云计算领域最为成熟的细分市场，用户对于SaaS的接受程度也比较高。2015年，SaaS市场增长率达到117.5%，市场规模增长至8.1亿元人民币。



2015年以来，云计算方面的相关政策不断。2015年年初，国务院发布了《国务院关于促进云计算创新发展培育信息产业新业态的意见》，明确了我国云计算产业的发展目标、主要任务和保障措施。2015年7月，国务院又发布了《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》，提出到2025年，“互联网+”将成为经济社会创新发展的重要驱动力量。2015年11月，工业和信息化部印发《云计算综合标准化体系建设指南》。2018年8月，工信部印发《推动企业上云实施指南（2018—2020年）》，提出了企业上云的工作目标。现阶段，云计算发展已经较为成熟。

1.1.3 云计算特点

1. 超大规模

大多数云计算数据中心都具有相当的规模，亚马逊、IBM、微软、雅虎等企业所掌控的云计算中心均拥有几十万台服务器。并且，云计算中心能通过整合和管理这些数目庞大的计算机集群，来赋予用户前所未有的计算和存储能力。

2. 虚拟化

必须强调的是，虚拟化突破了时间、空间的界限，是云计算最为显著的特点。云计算支持用户在任意位置使用各种终端，通过网络实时连接到云计算服务器去获取应用服务。所请求的资源来自云，而不是固定的、有形的实体。资源以共享资源池的方式统一管理，利用虚拟化技术，将资源分享给不同用户，在享受服务时用户不知道也没必要知道这个服务是由哪台服务器提供的。

3. 高可靠性

由于单点服务器出现故障可以通过虚拟化技术将分布在不同物理服务器上的应用恢复或利用动态扩展功能部署新的服务器进行计算，因此服务器故障也不影响计算与应用的正常运行。基于此，云计算中心在软、硬件层面采用了诸如数据多副本容错、心跳检测和计算节点同构可互换等措施来保障服务的高可靠性。

4. 通用性与高可用性

云计算不针对特定的应用，云计算中心很少为特定的应用而存在，但它能够有效支持业界的大多数主流应用，并且一个云可以支撑多个不同类型的应用同时运行，在云的支撑下可以构造出数量相当多的应用，并保证运行质量。并且，通过集成海量存储和高性能的计算能力，云能提供较高的服务质量。云计算能容忍节点的错误，可以自动检测失效节点，并将失效节点排除，而不影响系统整体运行。

5. 可扩展性

云计算系统是可以随着应用和用户的规模进行扩张的，用户可以利用应用程序的快速部署来更为简单快捷地将自身所需的已有业务以及新业务进行扩展，以能够有效地满足应用和用户大规模增长的需要。云计算能够无缝地扩展到大规模的集群之上，甚至能够同时处理数千个节点，即在对虚拟化资源进行动态扩展的情况下，能够同时高效扩展应用，提高计算机云计算的操作水平。

6. 按需服务

云是一个庞大的资源池，用户可以支付不同的费用，以获得不同级别的服务。云计算平台能够根据用户的需求快速准确地提供相应的服务。并且，服务的实现机制对用户透

明，用户无须了解云计算的具体机制，就可以获得需要的服务。

7. 经济廉价

由于云的特殊容错措施，使得云可以通过采用廉价的节点来构成，因此用户不再需要昂贵、存储空间大的主机，可以选择相对廉价的 PC 组成云，不仅能减少费用，而且其计算性能不逊于大型主机。此外，云的自动化集中式管理使大量企业无须负担日益高昂的数据中心管理费用，云的通用性使资源的利用率较传统系统大幅提升，因此用户可以充分享受云的低成本优势，通常只要花费少量费用、几天就能完成以前需要高昂费用、数月时间才能完成的任务。

8. 自动化

在云中，无论是应用、服务和资源的部署，还是软硬件的管理，都主要通过自动化的方式来执行和管理，从而极大地降低了整个云计算中心的人力成本。

9. 高层次的编程模型

云计算平台能够为用户提供高层次的编程模型。用户可以根据需要来编写自己的云计算程序在云系统上执行，满足自己的需求，这样在为用户提供巨大便利的同时，也节约了相应的开发资源。

10. 完善的运维机制

在云的另一端，有专业的团队来帮助用户管理信息，有先进的数据中心来帮助用户保存数据。同时，严格的权限管理策略可以保证这些数据的安全。这样，用户无须花费重金就可以享受到专业的服务。

云计算不仅为用户提供了更方便的体验，还为人们解决大规模计算、资源存储等提供了一条新的途径。正是因为这些优势，使得云计算脱颖而出，被业界广为推崇。

1.1.4 云计算趋势

目前，云计算的发展正如火如荼，预计未来云计算发展的方向大致如下：

1. 云计算的分工将会变得更加细化

随着云计算产业链不断完善，行业分工逐渐细化，预计在未来几年，行业云将成为云计算领域的发展热点。

2. IaaS 将迎来更大的降价风潮

万物互联给云计算带来更大的需求，在行业竞争和规模效应的驱动下，未来 IaaS 将迎来新一轮的降价风潮。

3. 私有云与超融合型基础设施将实现统一

私有云将越来越多地立足于超融合型平台（将计算、网络与存储资源进行预先整合的新型平台）之上，帮助企业更快地运行云实施。

4. 容器技术将成为云计算的标配

随着容器技术的成熟和更高的接受度，预计容器技术将成为云计算的标配。

5. 公有云将更深入关键业务应用

随着公有云给企业带来更多的便利和成本优势，预计更多的企业将更愿意把关键业务应用放在公有服务中，尤其更加吸引以成本驱动的企业投入公有云的怀抱。

1.2 云计算体系结构



云计算的体系结构由 5 部分组成，分别为应用层、平台层、资源层、用户访问层和管理层。云计算的本质是通过网络提供服务，所以其体系结构以服务为核心，如图 1-1 所示。

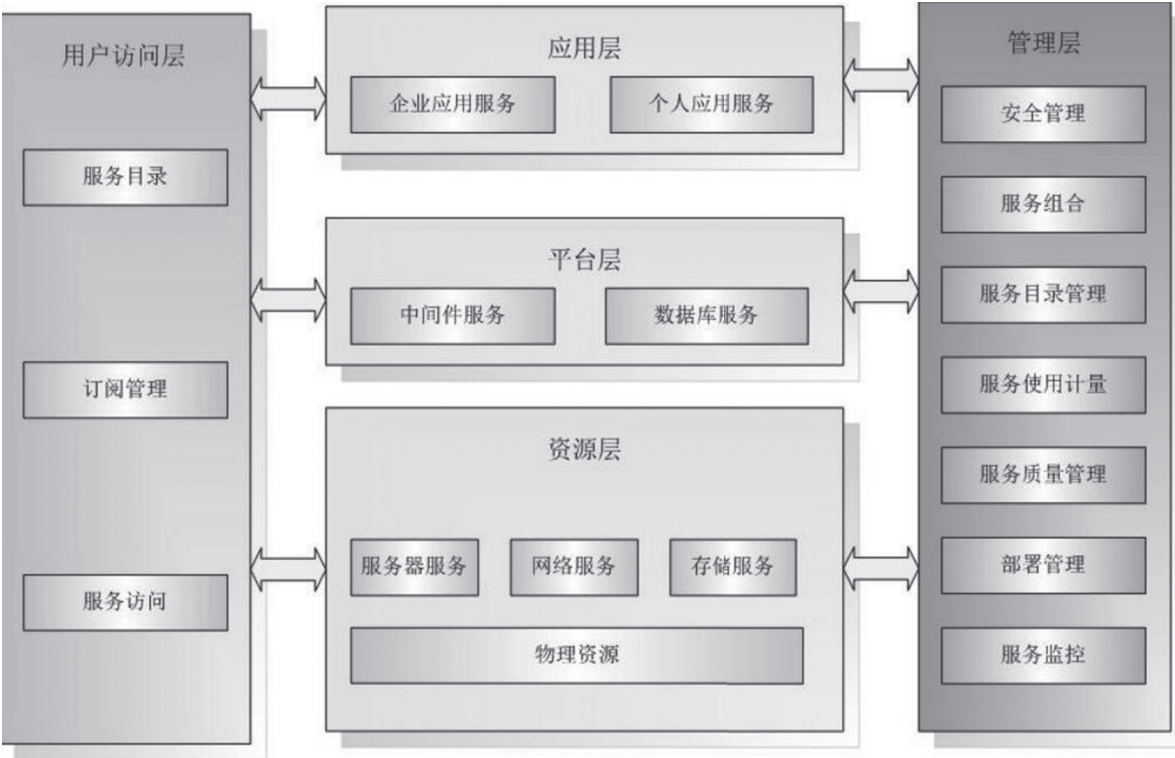


图 1-1 云计算的体系结构

1.2.1 资源层

资源层是指基础架构层面的云计算服务，这些服务可以提供虚拟化的资源，从而隐藏物理资源的复杂性。物理资源指的是物理设备，如服务器等。服务器服务指的是操作系统的环境，如 Linux 集群等。网络服务指的是提供的网络处理能力，如防火墙、VLAN、负载等。存储服务为用户提供存储能力。

1.2.2 平台层

平台层为用户提供对资源层服务的封装，使用户可以构建自己的应用。中间件服务为用户提供可扩展的消息中间件或事务处理中间件等服务。数据库服务提供可扩展的数据库处理能力。

1.2.3 应用层

应用层提供软件服务。企业应用是指面向企业用户的服务，如财务管理、客户关系管



理、商业智能等。个人应用指面向个人用户的服务，如电子邮件、文本处理、个人信息存储等。

1.2.4 用户访问层

用户访问层是方便用户使用云计算服务所需的各种支撑服务，针对每个层次的云计算服务都需要提供相应的访问接口。服务目录是一个服务列表，用户可以从中选择需要使用的云计算服务。订阅管理是提供给用户的管理功能，用户可以查阅自己订阅的服务或者终止订阅的服务。服务访问是针对每种层次的云计算服务提供的访问接口，针对资源层的访问可能是远程桌面，针对应用层的访问提供的接口可能是 Web。

1.2.5 管理层

管理层是提供对所有层次云计算服务的管理功能。安全管理提供对服务的授权控制、用户认证、审计、一致性检查等功能。服务组合提供对云计算服务进行组合的功能，使得新的服务可以基于已有服务创建时间。服务目录管理服务提供服务目录和服务本身的管理功能，管理员可以增加新的服务，或者从服务目录中除去服务。服务通过计量对用户的使用情况进行统计，并以此为依据对用户进行计费。服务质量管理对服务的性能、可靠性、可扩展性进行管理。部署管理提供对服务实例的自动化部署和配置，当用户通过订阅管理增加新的服务订阅后，部署管理模块自动为用户准备服务实例。服务监控提供对服务的健康状态的记录。

1.3 云计算关键技术

云计算是一种新型的超级计算方式，以数据为中心，是一种数据密集型的超级计算。云计算的目标是以低成本的方式提供高可靠、高可用、规模可伸缩的个性化服务。要实现这个目标，需要分布式海量数据存储、虚拟化技术、云平台技术、并行编程技术、数据管理技术等若干关键技术支持。

1.3.1 分布式海量数据存储

在信息爆炸的时代，人们可以获取的数据呈指数级增长，而且数据多来自于客户，数据的种类繁多，如文档、图片、视频等，存储系统需要存储各种半结构化、非结构化的数据。因此海量数据的存储宜使用分布式文件系统来进行管理。

分布式数据存储，即存储设备分布在不同的地理位置，数据就近存储，带宽上没有太大压力。容量设备分布部署，对机房环境要求较低，设备价格和维护成本较低，分布式数据存储将数据分散在多个存储节点上，各个节点通过网络相连，对这些节点的资源进行统一管理。这种设计对用户是透明的，系统为用户提供文件系统的访问接口，使之与传统的本地文件系统操作方式类似。这样的设计解决了传统的本地文件系统在文件大小、文件数量等方面的限制。

1.3.2 虚拟化技术



虚拟化技术是云计算技术框架的核心技术之一，是将各种计算及存储资源充分整合和高效利用的关键技术。云计算的虚拟化技术不同于传统的单一虚拟化技术，它涵盖了整个 IT 架构，包括资源、网络、应用和桌面在内的全系统虚拟化。通过虚拟化技术可以实现：①对包括基础设施、系统和软件等在内的 IT 资源的表示、访问和管理进行简化，并为这些资源提供标准接口来接收输入和提供输出。②实现将所有硬件设备、软件应用和数据隔离开来，打破硬件配置、软件部署和数据分布的界限，实现 IT 架构的动态化，实现资源集中管理，使应用能够动态地使用虚拟资源和物理资源，提高系统适应需求和环境的能力。③降低资源使用者与资源具体实现之间的耦合程度，让使用者不再依赖于资源的某种特定实现，系统管理员在对资源进行维护升级时，可以降低对使用者的影响。

1.3.3 云平台技术

云计算资源规模庞大，服务器数量众多且分布在不同地点，同时运行着数百种应用。如何有效地管理这些服务器，保证整个系统提供不间断的服务是一个巨大的挑战。云平台技术能够使大量的服务器协同工作，方便地进行业务部署，快速发现和恢复系统故障，通过自动化、智能化的手段实现大规模系统的可靠运营，如图 1-2 所示。

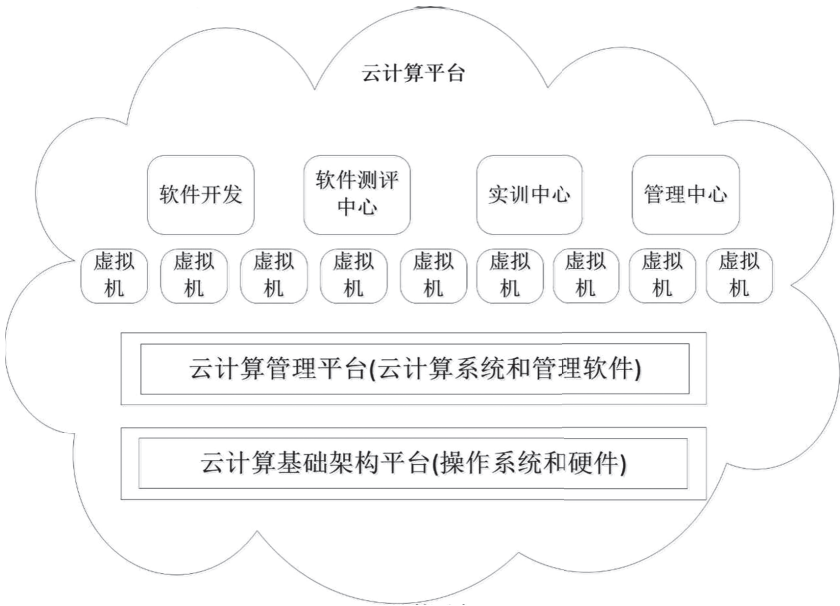


图 1-2 云计算平台

从图 1-2 可以看出，云计算平台的主要特点是用户不必关心云平台底层的实现。用户使用平台或云平台发布的第三方应用（服务提供商或者云平台用户）来调用平台提供的接口就可以在云平台中完成工作。利用虚拟化技术，云平台提供商可以实现按需服务，这一方面降低了云的成本，另一方面保证了用户的需求得到满足。云平台是基于大规模的数据中心或者网络，因此它可以提供高性能的计算服务，并且对于云平台用户，云资源几乎是无限的。



1.3.4 并行编程技术

云计算采用并行编程技术。分布式并行编程与传统的程序开发方式有很大的区别。传统的程序都是以单指令、单数据流的方式顺序执行，但是这种程序的性能受到单台机器性能的限制，可扩展性较差。分布式并行程序可以运行在由大量计算机构成的集群上，从而可以充分利用集群的并行处理能力，同时通过向集群中增加新的计算节点，来轻易实现集群计算能力的扩充。在并行编程模式下，并发处理、容错、数据分布、负载均衡等细节都被抽象到一个函数库中，通过统一接口，用户大尺度的计算任务被自动并发和分布执行，即将一个任务自动分成多个子任务，并行地处理海量数据。

Google 公司最先提出了分布式并行编程模型 MapReduce，Hadoop MapReduce 是它的开源实现。Google 的 MapReduce 运行在分布式文件系统 GFS 上。与 Google 类似，Hadoop MapReduce 运行在分布式文件系统 HDFS 上。相对而言，Hadoop MapReduce 要比 Google MapReduce 的使用门槛低很多，程序员即使没有任何分布式程序开发经验，也可以很轻松地开发出分布式程序并部署到计算机集群中。

1.3.5 数据管理技术

云计算系统对大数据集进行处理、分析，向用户提供高效的服务。首先，数据管理技术必须能够高效地管理大数据集。其次，如何在规模巨大的数据中找到特定的数据，也是云计算数据管理技术所必须解决的问题。

云计算系统中的数据管理技术最常见的是 Google 的 BigTable（简称 BT）数据管理技术和 Hadoop 团队开发的开源数据管理模块 HBase。由于采用列存储的方式管理数据，因此，如何提高数据的更新速率以及进一步提高随机读取速率是未来的数据管理技术必须解决的问题。

1.4 云交付模型

根据现在最常用，也是比较权威的美国国家标准技术研究院（National Institute of Standards and Technology, NIST）的定义，云计算主要分为 3 种交付模型，而且这 3 种交付模型主要是从用户体验的角度出发的，如图 1-3 所示。

这 3 种交付模型分别是基础设施即服务（Infrastructure as a Service, IaaS）、平台即服务（Platform as a Service, PaaS）和软件应用即服务（Software as a Service, SaaS）。对普通用户而言，他们主要面对的是 SaaS 服务模式，而且几乎所有的云计算服务最终的呈现形式都是 SaaS。除此之外，还有一种新型的交付模型：容器即服务（CaaS），它是以容器为核心的公有云平台，它被认为是云服务中具有革命性突破的交付模型。

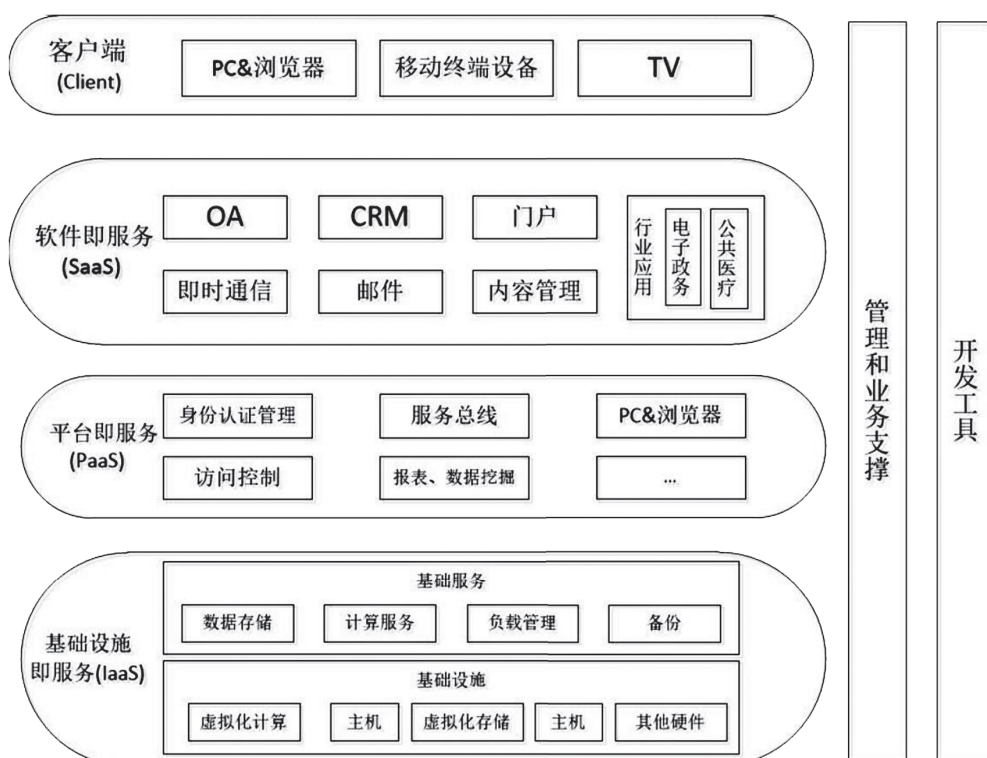


图 1-3 云计算 3 种交付模型

1.4.1 基础设施即服务 (IaaS)

1. IaaS 概述

IaaS 位于云服务的最底端，是一种向用户提供计算基础设施（包括 CPU、内存、I/O 设备、存储和计算能力等资源）服务的模式。在 IaaS 模式下，服务提供商将多台服务器组成的“云端”服务作为计量服务提供给用户。用户不需要管理或控制任何云计算基础设施，但能控制操作系统的选择、存储空间、部署的应用，也有可能获得有限制的网络组件（如防火墙、负载均衡等）的控制。

2. IaaS 核心技术

IaaS 层面的核心技术主要是自动化和虚拟化。自动化技术使得用户对资源使用的请求可以自行服务的方式完成，无须服务提供者的介入。一个稳定而强大的自动化管理方案可以将服务的边际成本降为 0，从而保证云计算的规模化效应得以实现。在自动化的基础上，资源的动态调度得以成为现实，从而满足事先跟用户订立的服务水平条款。而虚拟化技术是通过物理资源共享来极大地提高资源利用率，降低 IaaS 平台成本与用户使用成本。而且，虚拟化技术的动态迁移功能能够带来服务可用性的大幅提高，这一点对用户极具吸引力。

3. IaaS 产品与服务

云计算厂商是互联网企业基础设施的供给平台，由于不同 IaaS 厂商的人员规模、资源优势、技术优势和发展战略不同，其提供的产品模式也有非常大的差异，而其中主流的产品有以下几种。

(1) 通过提供一套完整的功能来实现 IaaS 的服务，提供的服务主要包括云主机、





云存储、CDN 等服务。其中国内的沃云、天翼云、阿里云、腾讯云、UCloud 等均采用了这样的产品模式，能够为用户提供“一站式”的服务体系，从而提升产品的竞争力。

(2) 通过搭建平台的方式来实现对 IaaS+PaaS 的服务。这个方向比较有代表的是青云，通过搭建一个成长型平台的方式来实现基础设施的部署，并且使用青云服务的厂商还能够得到在同一平台其他企业的功能支持。

(3) 传统 IDC 的服务。通过使用传统 IDC 的 IaaS 服务，企业能够得到更多的资源方面的支持，进而实现环境的搭建。

(4) 通过 IaaS 服务的一个模块形成的服务，典型代表有七牛云、UPYUN、坚果云、360 云、迅雷。其中七牛云、UPYUN、坚果云均是从云存储的角度切入市场，迅雷基于自身多年的 P2P 研究经验，推出了单纯的 CDN 服务，而 360 云则推出了云主机和云安全服务。

1.4.2 平台即服务 (PaaS)

1. PaaS 的基本概念

PaaS 是一种在云计算基础设施上将服务器平台、开发环境和运行环境等以服务的形式提供给用户的服务模式。PaaS 服务提供商通过基础架构平台或开发引擎为用户提供软件开发、部署和运行环境。用户基于 PaaS 提供商提供的开发平台可以快速开发并部署自己需要的应用和产品，缩短了应用程序的开发周期，降低了环境的配置和管理难度，节省了环境搭建和维护的成本。从 PaaS 以服务形式提供给用户的角度来说，PaaS 也是 SaaS 模式的一种应用。同时 PaaS 的出现可以加快 SaaS 的发展，尤其是加快 SaaS 应用的开发速度。

2. PaaS 关键技术

PaaS 层的技术具有多样性，主要有如下几种。

(1) REST：通过表述性状态转移 (Representational State Transfer, REST) 技术，能够非常方便和优雅地将中间件层所支撑的部分服务提供给调用者。

(2) 多租户：就是能让一个单独的应用实例可以为多个组织服务，而且能保持良好的隔离性和安全性。通过这种技术，能有效地降低应用的购置和维护成本。

(3) 并行处理：为了处理海量的数据，需要利用庞大的 x86 集群进行规模巨大的并行处理，Google 的 MapReduce 是这方面的代表之作。

(4) 应用服务器：在原有的应用服务器的基础上为云计算进行大量的优化，比如用于 GAE 的 Jetty 应用服务器。

(5) 分布式缓存：通过分布式缓存技术，不仅能有效地降低对后台服务器的压力，而且还能加快相应的反应速度，最著名的分布式缓存例子莫过于 Memcached。

对于很多 PaaS 平台 (如用于部署 Ruby 应用的 Heroku 云平台等) 而言，应用服务器和分布式缓存都是必备的，同时 REST 技术也常用于对外的接口；多租户技术则主要用于 SaaS 应用的后台，比如用于支撑 Salesforce 的 CRM 等应用的 Force.com 多租户内核，而并行处理技术常作为单独的服务推出，如 Amazon 的 Elastic MapReduce 等。

3. 典型 PaaS 平台

目前有能力提供 PaaS 平台的厂商并不多，一些大的 PaaS 提供者国外有 Google 的 Google App Engine、IBM 的 Rational 开发者云、Salesforce 公司的 Force.com、Microsoft Azure、Heroku 和 Engine Yard 等，国内有百度应用引擎 BAE、新浪云 SAE、腾讯云 Qcloud 和阿里云 ACE。



笔记

1.4.3 软件应用即服务 (SaaS)

1. SaaS 概述

SaaS 是一种通过 Internet 向最终用户提供软件产品和服务（包括各种应用软件及应用软件的安装、管理和运营服务等）的模式。SaaS 服务提供商将应用软件统一部署在自己的服务器上，并以免费或按需租用的方式向最终用户提供服务。用户无须购买软件，无须对软件进行维护，也无须考虑底层的基础架构及开发部署等问题。相对于传统的软件，SaaS 解决方案有明显的优势，包括较低的前期成本、便于维护、快速展开使用、由服务提供商维护和管理软件，并且提供软件运行的硬件设施，用户只需拥有接入互联网的终端，即可随时随地使用软件。SaaS 软件被认为是云计算的典型应用之一。

2. SaaS 的价值

SaaS 的价值主要体现在以下几个方面。

- (1) 随时随地访问：用户在任何时候、任何地点，只要接上网络，就能访问 SaaS。
- (2) 支持公开协议：通过支持公开协议（例如 HTML4/5），能够方便用户使用。
- (3) 安全保障：SaaS 供应商需要提供一定的安全机制，不仅要使存储在云端的用户数据处于绝对安全的境地，而且也要在客户端实施一定的安全机制（如 HTTPS）来保护用户。
- (4) 多用户：通过多用户机制，不仅能更经济地支持庞大的用户规模，而且能提供一定的可指定性以满足用户的特殊需求。
- (5) 按需订购，让用户的选择更加自由，大大降低了用户的总体拥有成本。
- (6) 产品更新速度加快，市场空间增大。

3. SaaS 的实现

SaaS 的实现方式主要有以下两种。

一种是通过 PaaS 平台来开发 SaaS。一些厂商在 PaaS 平台上提供了一些开发在线应用软件的环境和工具，可以在线直接使用它们来开发 SaaS 平台。

另一种是采用多租户架构和元数据开发模式，采用 Web 2.0、Struts、Hibernate 等技术来实现 SaaS 中各层（用户界面层、控制层、业务逻辑层和数据访问层等）的功能。

SaaS 可以在 IaaS 上实现，也可以在 PaaS 上实现，还可以独立实现。类似地，PaaS 可以在 IaaS 上实现，也可以独立实现。

4. 典型 SaaS 平台介绍

目前，SaaS 应用已经非常广泛，包括云 OA、云 CRM 和云 ERP 等。一些用作商务的 SaaS 应用平台包括 Citrix 公司的 GoToMeeting、Cisco 公司的 WebEx、Salesforce 公司的 CRM 等。



1.4.4 基本云交付模型的比较

IaaS、PaaS 和 SaaS 这 3 个交付模型之间没有必然的联系，只是 3 种不同的服务模式，都是基于互联网，按需按时付费，就像水、电、煤气一样。但是在实际的商业模式中，PaaS 的发展确实促进了 SaaS 的发展，因为提供了开发平台后，大大降低了 SaaS 的开发难度。

(1) 从用户体验角度而言，它们之间的关系是独立的，因为它们面对的是不同的用户。

(2) 从技术角度而言，它们并不是简单的继承关系，首先，SaaS 可以是基于 PaaS 或者直接部署于 IaaS 之上，其次，PaaS 可以构建于 IaaS 之上，也可以直接构建在物理资源之上。

3 种基本交付模型的比较如表 1-1 所示。

表 1-1 3 种交付模型的比较

云交付模型	服务对象	使用方式	关键技术	用户的控制等级	系统实例
IaaS	需要硬件资源的用户	使用者上传数据、程序代码、环境配置	虚拟化技术、分布式海量数据存储等	使用和配置	Amazon EC2、Eucalyptus 等
PaaS	程序开发者	使用者上传数据、程序代码	云平台技术、数据管理技术等	有限的管理	Google App Engine、Microsoft Azure、Hadoop 等
SaaS	企业和需要软件应用的用户	使用者上传数据	Web 服务技术、互联网应用开发技术等	完全的管理	Google Apps、Salesforce CRM 等

这三种交付模型都是采用外包的方式，减轻了云用户的负担，降低了管理、维护服务器硬件、网络硬件、基础架构软件和应用软件的人力成本。从更高的层次上看，它们都试图去解决同一个问题——用尽可能少甚至零资本支出，获得功能、扩展能力、服务和商业价值。成功的 SaaS 和 IaaS 可以很容易地延伸到平台领域。

1.4.5 容器即服务 (CaaS)

CaaS 也称为容器云，是以容器为资源分割和调度的基本单位，封装整个软件运行环境，为开发者和系统管理员提供用于构建、发布和运行分布式应用的平台。CaaS 具备一套标准的镜像格式，可以把各种应用打包成统一的格式，并在任意平台之间部署迁移，容器服务之间又可以通过地址、端口服务来互相通信，做到既有序又灵活；既支持对应用的无限定制，又可以规范服务的交互和编排。

作为后起之秀的 CaaS，介于 IaaS 和 PaaS 之间，起到了屏蔽底层系统 IaaS、支撑并丰富上层应用平台 PaaS 的作用。

CaaS 解决了 IaaS 和 PaaS 的一些核心问题，例如，IaaS 很大程度上仍然只是提供机器和系统，需要自己把控资源的管理、分配和监控，没有减少使用成本，对各种业务应用的支持也非常有限；而 PaaS 的侧重点是提供对主流应用平台的支持，其没有统一的服务

接口标准，不能满足个性化的需求。而 CaaS 的提出可谓应运而生，以容器为中心的 CaaS 很好地将底层的 IaaS 封装成一个大的资源池，用户只需要把自己的应用部署到这个资源池中，不再需要关心资源的申请、管理以及与业务开发无关的事情。



1.5 云部署模式

云计算服务的部署模式主要有三种，分别是公有云、私有云和混合云。公有云是云计算服务提供商为公众提供服务的云计算平台，理论上任何人都可以通过授权接入该平台。私有云则是云计算服务提供商为企业在其内部建设的专有云计算系统，只为企业内部服务。混合云则是同时提供公有和私有服务的云计算系统，它是介于公有云和私有云之间的一种折中方案，如图 1-4 所示。



图 1-4 云部署模式示意图

1.5.1 公有云

公有云是指云基础设施由一个提供云计算服务的运营商所拥有，为外部客户提供服务的云，它所有的服务是供别人使用，而不是自己使用。在此种模式下，应用程序、资源、存储和其他服务，都由云服务供应商来提供给用户，用户可以免费或者按需付费来使用这些资源，无须任何前期投入，因此非常经济。而且，用户不清楚与其共享和使用资源的还有其他哪些用户，整个平台是如何实现的，甚至无法控制实际的物理设施，所以云服务提供商能保证其所提供的资源具备安全和可靠等非功能性需求。公有云的最大优点是，可以充分发挥云计算系统的规模经济效益，其所应用的程序、服务及相关数据都存放在公有云的提供者处，用户无须做相应的投资和建设，但同时由于数据不存储在用户自己的数据中心，其安全性存在一定的风险。

目前，公有云是现在最主流的，也是最受欢迎的一种云计算服务模式。典型的公有云有微软的 Windows Azure Platform、亚马逊的 AWS、Google 的 Google App Engine 以及国内的阿里云等。

1.5.2 私有云

私有云是指云基础设施被某单一组织拥有或租用，可以坐落在本地或防火墙外的异地，该基础设施只为该组织内部人员或分支机构使用，不对公众开放。私有云的部署比较适合于有众多分支机构的大型企业或政府部门，随着这些大型企业数据中心的集中化，私有云将会成为他们部署 IT 系统的主流模式，可以极大地增强企业内部的 IT 运转能力，并使整个 IT 服务围绕着企业主营业务展开，从而更好地为企业主营业务服务。与公有云相比，私有云部署在企业内部，因此其数据安全性更好，服务质量非常稳定。但其成本也更高，云计算的规模经济效益也受到了限制，整个基础设施的利用率远低于公有云。

1.5.3 混合云

混合云是指云基础设施由两种或两种以上的云（公有云、私有云或行业云）组成，它们相互独立，但在云的内部又相互结合。它所提供的服务既可以供别人使用，也可以供自己使用。混合云是计算模式的混合体，它是让用户在私有云的私密性和公有云的灵活低廉之间做一定权衡的模式。例如，企业可以将非关键的应用部署到公有云上来降低成本，而将安全性要求较高、关键的核心应用部署到私有云上。通过使用混合云，企业可以享受接近私有云的私密性，也可以享受接近公有云的成本，可以发挥出所混合的多种云计算模型各自的优势。但现在可供选择的混合云产品较少，相比较而言，混合云的部署方式对云计算服务提供商的要求较高。

1.6 云计算的应用与发展

1.6.1 云计算与存储

云存储是在云计算概念上延伸和发展出来的一个新概念，是一种新兴的网络存储技术，是指通过集群应用、网络技术或分布式文件系统等功能，将网络中大量的、各种不同类型的存储设备通过应用软件集合起来协同工作，共同对外提供数据存储和业务访问功能的一个系统。云存储是一种资源、一种服务，是一个以数据存储和管理为核心的云计算系统。本质上来说云存储是一种网络在线存储模式，主要用途包括数据备份、归档和灾难恢复等。

真正的云存储包括百度云、阿里云网盘等，这些应用的作用，可以帮助用户存储资料，如大容量文件可以通过云存储来下载，节省了时间和金钱，有很好的便携性。现在，除了互联网企业外，许多IT厂商也开始有自己的云存储服务，以达到捆绑客户的目的，如联想的“乐云”、华为的网盘等。

1.6.2 云计算与安全

云安全是继云计算和云存储之后出现的“云”技术的重要应用，是传统IT领域安全概念在云计算时代的延伸。云安全通常包括两个方面的内涵：一是云计算安全，即通过相关安全技术，形成安全解决方案，以保护云计算系统本身的安全；二是安全云，特指网络安全厂商构建的提供安全服务的云，让安全成为云计算的一种服务形式。

从云计算安全的内涵角度来说，“云安全”是网络时代信息安全的最新体现，是安全软件、安全硬件和安全云平台等的总称，主要体现为应用于云计算系统的各种安全技术和手段的融合。云安全是云计算技术的重要分支，并且已经在反病毒软件中取得了广泛的应用，发挥了良好的效果。

从安全云的内涵角度来说，“安全”也将逐步成为“云计算”的一种服务形式，主要体现为网络安全厂商基于云平台向用户提供各类安全服务。

云计算的光芒能否照进千家万户，最重要的是安全问题。安全性不达标，就很容易造成数据丢失、泄露等，对政府、企业等运作产生巨大损失。目前，我国网络安全企业在云安全的技术应用上走在世界前列。

1.6.3 云计算与大数据



云计算与大数据代表了 IT 领域最新的技术发展趋势，两者既有区别又有联系。百度的张亚勤说：“云计算和大数据是一个硬币的两面，云计算是大数据的 IT 基础，而大数据是云计算的一个杀手级应用。”一方面，云计算是大数据成长的驱动力；而另一方面，由于数据越来越多、越来越复杂、越来越实时，这就更加需要云计算去处理，所以两者之间是相辅相成的，我们不能把云计算和大数据割裂开来作为截然不同的两类技术来看待。

第一，大数据侧重于对海量数据的存储、处理与分析，从海量数据中发现价值，服务于生产和生活。云计算本质上旨在整合和优化各种 IT 资源，并通过网络以服务的方式廉价地提供给用户。

第二，大数据根植于云计算，大数据分析的很多技术都来自于云计算，是云计算技术的延伸。云计算的分布式数据存储和管理系统（包括分布式文件系统和分布式数据库系统）提供了海量数据的存储和管理能力，分布式并行处理框架 MapReduce 提供了海量数据分析能力，没有这些云计算技术作为支撑，大数据分析就无从谈起。反之，大数据为云计算提供了用武之地，没有大数据这个“练兵场”，云计算技术即使再先进，也无法发挥它的应有价值。

可以说，云计算和大数据已经彼此渗透、相互融合，在很多应用场合都可以同时看到彼此的“身影”。在未来，两者会继续相互促进、相互影响，以更好地服务于社会生产和生活的各个领域。

1.6.4 云计算与虚拟化

云计算是业务模式，是产业形态，它不是一种具体的技术。例如 IaaS、PaaS 和 SaaS 都是云计算的表现形式。而虚拟化技术是一种具体的技术，虚拟化和分布式系统都是用来实现云计算的关键技术之一。

换句话说，云计算是一种概念，其“飘浮”在空中，故如何使云计算落地，成为真正提供服务的云系统是云计算实现的目标。业界已经形成广泛的共识：云计算将是下一代计算模式的演变方向，而虚拟化则是实现这种转变最为重要的基石。虚拟化技术与云计算几乎是相辅相成的，在云计算涉及的地方，都有虚拟化的存在。可以说，虚拟化技术是云计算实现的关键，没有虚拟化技术，就谈不上云计算的实现。所以虚拟化与云计算有着紧密的关系，虚拟化的发展使云计算成为可能，而随着云计算的发展也将带动虚拟化技术的进一步成熟和完善。

虚拟化有效地分离了硬件与软件，而云计算则让人们将精力更加集中在软件所提供的服务上。云计算必定是虚拟化的，虚拟化给云计算提供了坚实的基础，但是虚拟化的用处并不仅限于云计算，这只是它强大功能中的一部分。

1.6.5 云计算的商业模式

云计算的一个典型特征就是 IT 服务化，也就是将传统的 IT 产品、运算能力通过互联网以服务的形式交付给用户，于是就形成了云计算商业模式。云计算是一种全新的商业模



式，其核心部分依然是数据中心，它使用的硬件设备主要是成千上万的工业标准服务器，它们由英特尔或者 AMD 生产的处理器以及其他硬件厂商的产品组成。企业和个人用户通过高速互联网得到计算能力，从而避免了大量的硬件投资。

云计算的商业模式可以简单地划分为基础设施即服务（IaaS）、平台即服务（PaaS）、软件即服务（SaaS），它们分别对应于传统 IT 中的“硬件”“平台”和“软件（应用）”。

1.6.6 云计算的未来发展

目前，全球云计算市场迅速增长，世界各信息产业强国和地区对云计算都给予了高度关注，并已经把云计算作为未来战略产业的重点，纷纷研究、制定并出台云计算发展战略规划，加快部署国家级云计算基础设施，推动云计算的应用，抢占云计算产业制高点。

美国政府正在大力推行的云计算计划，内容涉及生产性产业结构调整、发展云端产业、商务业务整合、政府网站改革、社交媒体等诸多方面。欧盟于 2007 年 1 月启动了“第 7 框架计划（FP7）”，推动了云计算产业的发展。2011 年 2 月美国政府发布了《联邦云计算战略》，规定在所有联邦政府信息化项目中云计算优先。英国已开始实施政府云（G-Cloud）计划，所有的公共部门都可以根据自己的需求通过 G-Cloud 平台来挑选和组合所需服务。日本提出了霞关云计划，计划建立一个大规模的云计算基础设施，实现电子政务集中到一个统一的云计算基础设施上，以提高运营效率、降低成本。IBM、微软、Google、Sun、亚马逊等知名公司相继推出云计算产品和服务，Intel、Cisco 等传统硬件厂商也纷纷向云计算服务商转型。云计算受到了国际资本市场的高度关注，VMware 因在云基础架构领域的领先优势成为继 Google 上市后美国融资额排名第二的科技公司，Salesforce 等多家新兴云计算技术和服务企业也凭借先发优势成功在欧美证券市场上市，发展势头强劲。