

Cloud Architecture and Key Applications

云计算基础架构 及关键应用

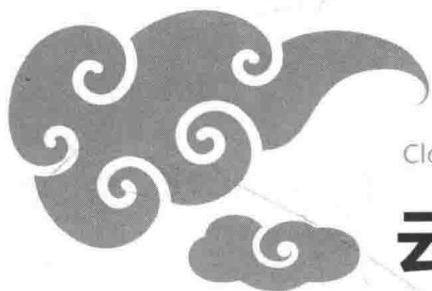
陆平 赵培 王志坤 等编著

涵盖OpenStack的关键技术和原理
构建基于云计算的双活数据中心
打造安全且具有快速扩展能力的混合云平台



机械工业出版社
China Machine Press

云计算与虚拟化技术丛书



Cloud Architecture and Key Applications

云计算基础架构 及关键应用

陆平 赵培 王志坤 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

云计算基础架构及关键应用 / 陆平等编著. —北京: 机械工业出版社, 2016.3
(云计算与虚拟化技术丛书)

ISBN 978-7-111-53176-0

I. 云… II. 陆… III. 虚拟处理机—研究 IV. TP338

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 044877 号

云计算基础架构及关键应用

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 王 颖

责任校对: 董纪丽

印 刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版 次: 2016 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 186mm×240mm 1/16

印 张: 14.5

书 号: ISBN 978-7-111-53176-0

定 价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

本书编委会

主 编：陆平

副主编：赵培 王志坤

编 委：董振江 邓芳伟 张晗 杨勇 彭涛 王蔚

推荐序 *Foreword*

2009年第一届中国云计算大会的盛况仿佛还在眼前，转眼间7年过去了。在这7年间，云计算在中国从萌芽到发展，如今云计算的浪潮正在影响着数据中心、应用系统的建设，甚至无时无刻影响着人们的生活。随着云计算技术的成熟，运营商、互联网公司、政府企业都纷纷在自身的IT建设中使用了云计算。

云计算的来龙去脉是什么？为什么工业界需要云计算？其背后的技术背景、相关公司、非营利化开源组织、商业利益集团在云计算方面的策略是什么？随着云计算技术的成熟，企业如何部署自己的云计算，选用什么样的云计算、云平台来搭建IT系统？另外，云计算领域出现了许多分支——公有云、私有云、混合云等，其各自布局和未来发展如何？

这些都是相关领域的国家技术发展政策研究人员、企业CIO/CTO、高级研发人员、高校研究人员必须了解和能够回答的问题。本书和《OpenStack系统架构设计实战》(即将由机械工业出版社出版。——编辑注)，深入浅出地解释了上述问题，是难得的好书。

云计算相关的技术书籍已经有一些，且各有亮点。如虚拟化、OpenStack、KVM等方面，都有大量的参考书籍。这两本书的特点是从云计算技术及应用全貌进行完整介绍，兼顾了系统与细节：包括云计算的虚拟资源层、IaaS云管理层、PaaS等各个平台服务层次；详细介绍了KVM、Xen、Docker、OpenStack、Cloud Foundry、Ceph、SDN等云计算的关键技术；介绍了计算、存储、网络虚拟化的技术发展和应用；介绍了NFV、公有云、私有云、混合云的架构、部署和应用场景。这两本书的作者是长期从事云计算的一线研发专家，他们从云计算的关键技术着手，同时站在云计算提供者、使用者、IT建设决策者的多方角度来考虑云计算的应用场景和技术，非常难能可贵。

本人近年来一直从事分布式存储编码与系统的研发，部分理论成果——基于G2域的二进制纠错码BRS(Binary Reed-Solomen)成功融入中兴通讯的大数据存储系统中。合作的过程使

得我对这两本书的作者的专业水平有了更深入的了解，强烈推荐计算机、网络、系统和相关专业的研发人员阅读此书。我相信，通过对这两本书的阅读，大家将会进一步加强对云计算的全面认识，综合理解 SDN、NFV、云存储、云计算的部署和运维，全面掌握云计算的整体技术知识。



北京大学信息工程学院
北京大学大数据技术研究院存储编码及系统实验室
深圳市云计算重点实验室

前 言 Preface

早在 20 世纪 90 年代，云计算就已作为一种全新的技术模型被提出，但直到 2007 年，才因 Google、亚马逊等云计算先驱将其付诸商业实践并获得丰厚利润，而得到业界的广泛重视。和互联网、物联网等技术一样，云计算是电子信息技术和信息社会需求发展到一定阶段的必然产物。从 2007 年至今，云计算已经成为人们进行信息交互与存储的重要模式，并成为大数据处理和深度挖掘的主要平台。

高盛研究在 2015 年的一份报告中指出，全球在云计算基础建设以及云平台上的花费将在 2013 ~ 2018 年间以年均 30% 的速率增长，而整个 IT 行业的预计增长仅有 5%。面对这个蓬勃发展的市场，许许多多的咨询公司和研究机构都对其有着不同的预测。但是他们都一致认为，在全球范围内，云计算的发展正在加速。在巨大需求的刺激下，云计算核心得到快速发展，商业云计算与开源云计算技术在竞争中共同推进，而云计算与行业结合，也形成了形态各异、特色鲜明的电子政务云、教育云、医疗云、金融云、环保云、旅游云等云计算服务，云计算大数据的发展空间则更加广阔。

中兴通讯在云计算方面有多年的技术积累和应用实践。本书结合云计算最新技术趋势和中兴通讯的长期实践，对云计算技术进行系统的讲解，对云计算实践提供思路和建议。本书首先从云计算的需求和现状出发，分析目前云计算出现的问题。针对这些问题分析了 IaaS 云管理平台、IaaS 云平台部署，并对 PaaS（平台即服务）等进行了充分的探索和讨论。

本书由 10 章组成，各章主要内容如下。

第 1 章介绍了云计算的发展历史、基本模型及发展趋势。后续 3 章则对于计算、存储、网络虚拟化的主要技术分别进行阐述。其中，第 2 章对 KVM、Xen、VMware 等主要 Hypervisor 虚拟化技术以及容器虚拟化技术进行介绍，并阐明两类技术之间的关联。第 3 章以 Ceph 为例介绍分布式文件系统、分布式块存储、存储网关等存储虚拟化技术。2012 年，在

SDN（软件定义网络）和 OpenFlow 大潮的进一步推动下，网络虚拟化再度成为热点，第 4 章重点介绍业界主流的一些虚拟网络设备或者新网络架构。第 5 章通过介绍各厂商桌面和应用虚拟化解决方案，让读者对虚拟桌面的发展有全面的了解。第 6 章对各主流云管理平台进行介绍及对比后，对 OpenStack 平台进行了重点介绍。对在不同时间、不同团队采用不同语言开发和构建的几十甚至几百个应用进行评估，考虑如何迁移到云计算环境，需要对现有 IT 基础框架有深刻的理解和认识，以及对各种云资源所能提供的功能等各种细节有深入了解。接下来，通过对通用云、NFV 云等部署方式的阐述，帮助读者在具体的云实践中可以更加有的放矢。第 7 章剖析了私有云、公有云、混合云的优势、适合场景、关键技术等，并结合 OpenStack 介绍了其构建及部署方式。第 8 章系统地介绍了 NFV 的架构及关键技术组成。第 9 章对业务链实现技术加以介绍，包括基本概念、架构及具体实现。

每一个新兴的计算技术都会迎来一个对应的新应用平台，在云计算时代，应用平台作为一种服务，通常被描述为平台即服务（PaaS）。第 10 章重点描述了 PaaS 平台的定义、应用场景以及功能与特点，并比较了业界主流的 Cloud Foundry、OpenShift、Flynn、Deis、DINP 等开源 PaaS 平台，为读者提供了选择开源 PaaS 平台的参考，另外介绍了 PaaS 平台 Cloud Foundry 的架构、工作机制及应用部署等知识。

本书适合高校及科研院所云计算研究人员、云计算开发者和工程人员阅读参考。本书的编写，除了各位编委之外，还得到了王晔、陈俊、高洪、张恒生、江滢等同事的大力支持，在此表示感谢！由于作者水平所限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

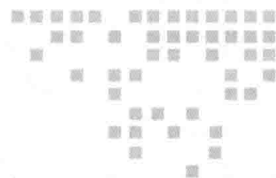
目 录 *Contents*

本书编委会	
推荐序	
前 言	
第1章 云计算	1
1.1 云计算定义	1
1.2 云计算发展历史	2
1.3 云计算的特征	3
1.4 IT 建设的云计算趋势	4
1.5 云计算模型	6
1.6 IaaS	7
1.7 计算虚拟化简介	9
1.7.1 计算虚拟化	9
1.7.2 计算虚拟化的作用	10
1.7.3 计算虚拟化解疑	10
1.7.4 计算虚拟化厂家	12
1.8 存储虚拟化简介	13
1.8.1 存储虚拟化	13
1.8.2 存储虚拟化的特点	14
1.8.3 自动精简配置	14
1.8.4 存储虚拟引擎	15
1.9 网络虚拟化简介	15
1.9.1 网络设备虚拟化	15
1.9.2 链路虚拟化	16
1.9.3 虚拟网络	17
1.9.4 基于 SDN 的网络虚拟化	18
第2章 计算虚拟化技术	19
2.1 计算虚拟化技术简介	19
2.1.1 Hypervisor 虚拟化	19
2.1.2 容器虚拟化	23
2.2 KVM	25
2.3 Xen	27
2.4 VMware	27
2.5 Docker	29
2.6 计算虚拟化技术对比 及应用场景	32
2.7 计算虚拟化与云管理 平台的关联实现	34
2.7.1 Libvirt-KVM	34
2.7.2 Libvirt-Docker	35
2.7.3 XenAPI	35
2.7.4 VMware Driver	37
2.8 小结	40

第3章 存储虚拟化技术	41	异同	81
3.1 Ceph 简介	41	4.4 虚拟网络设备	81
3.2 Ceph 的架构	42	4.4.1 Firewall	81
3.2.1 RADOS 集群存储节点	43	4.4.2 LoadBalance	82
3.2.2 Librados 库	47	4.4.3 DVR	85
3.2.3 RADOSGW	48	4.5 小结	86
3.2.4 RBD	49	第5章 桌面 & 应用虚拟化	87
3.2.5 Ceph FS	50	5.1 概述	87
3.3 Ceph 和 OpenStack	50	5.2 桌面虚拟化	89
3.4 Ceph 的部署	51	5.2.1 应用场景	89
3.4.1 部署需要准备的		5.2.2 系统架构 & 原理	89
系统环境	51	5.2.3 关键技术	90
3.4.2 Ceph 部署的步骤	52	5.3 应用虚拟化	100
3.5 分布式文件系统	54	5.3.1 应用场景	100
3.6 Swift 对象存储	56	5.3.2 实现原理	101
3.7 存储网关技术	57	5.3.3 关键技术	102
3.8 对象存储方案简介	58	5.3.4 典型厂商产品	102
3.9 小结	62	5.4 VOI	108
第4章 网络虚拟化技术	63	5.4.1 基本概念	108
4.1 SDN 架构简介	63	5.4.2 VDI & VOI 比较	108
4.1.1 OpenFlow 标准	65	5.5 小结	109
4.1.2 OpenStack 与 SDN 集成	66	第6章 云管理平台概述	110
4.1.3 OpenDaylight	67	6.1 主流云管理平台对比	111
4.2 OVS 与 Linux Bridge	71	6.2 OpenStack 简介	115
4.2.1 Open vSwitch 虚拟网络	71	6.2.1 OpenStack 设计原理	
4.2.2 Linux Bridge	74	和体系结构	115
4.3 Overlay 协议	74	6.2.2 OpenStack 社区和	
4.3.1 VXLAN	75	项目开发流程	119
4.3.2 NVGRE	79	6.2.3 OpenStack 应用现状与	
4.3.3 VXLAN 与 NVGRE 的			

发展趋势	120	8.1.2 与 SDN 的关系	161
6.3 OpenStack 入门体验	123	8.1.3 NFV 的技术基础	162
6.3.1 初探 OpenStack	123	8.1.4 NFV 的挑战	162
6.3.2 创建 OpenStack 虚拟机		8.2 NFV 架构	164
实例	124	8.2.1 NFV 架构框架	164
6.3.3 创建虚拟机流程概述	126	8.2.2 NFV 典型用例	168
第7章 通用云平台部署	130	8.3 NFV 关键组成	170
7.1 背景	130	8.3.1 NFV 基础设施	170
7.2 公有云	131	8.3.2 NFV 管理和编排	171
7.2.1 概述	131	8.3.3 NFV 软件架构	173
7.2.2 公有云典型服务	132	8.3.4 NFV 可靠性和可用性	174
7.2.3 公有云平台比较	134	8.3.5 NFV 性能和可移植性	175
7.3 私有云	138	8.3.6 NFV 安全	175
7.3.1 概述	138	8.4 NFV 性能提升关键技术	176
7.3.2 建设私有云需要		8.4.1 SR-IOV 虚拟化技术	176
考虑的问题	139	8.4.2 NUMA 多通道处理	178
7.3.3 基于 OpenStack 搭建		8.4.3 DPDK 包处理技术	178
私有云	140	8.5 小结	179
7.4 混合云	143	第9章 业务链实现技术	180
7.4.1 概述	143	9.1 概述	180
7.4.2 典型场景	146	9.2 业务链基本概念	180
7.4.3 主要挑战	148	9.3 IETF SFC 架构简介	181
7.4.4 架构	151	9.3.1 SFC 包解析	182
7.4.5 关键技术	153	9.3.2 业务功能链的相关动作	184
7.4.6 混合云业务部署实践	156	9.4 云数据中心业务链实现方案	185
7.5 小结	158	9.4.1 业务功能的创建过程	186
第8章 NFV云部署	159	9.4.2 基于 Traffic Steering 进行	
8.1 NFV 概述	159	业务链引流	187
8.1.1 NFV 定义	160	9.4.3 API	188
		9.4.4 业务链示例	193

9.5 小结	194	10.3.5 Health Manager	203
第10章 PaaS平台	195	10.3.6 DEA	203
10.1 PaaS 平台概述	195	10.3.7 Message Bus	204
10.1.1 PaaS 定义	195	10.3.8 Metrics & Logging	204
10.1.2 PaaS 的功能与特点	196	10.3.9 Buildpack	204
10.1.3 PaaS 的应用场景	196	10.3.10 Service Broker	206
10.1.4 业界开源 PaaS 平台	197	10.3.11 Cloud Foundry V1 与 Cloud Foundry V2 的区别	207
10.2 Cloud Foundry 平台	197	10.4 Cloud Foundry 工作机制	207
10.2.1 Cloud Foundry 的功能 和特点	197	10.5 Cloud Foundry 应用 部署与使用	209
10.2.2 Cloud Foundry 社区现状	199	10.6 Cloud Foundry V3	212
10.2.3 Cloud Foundry 应用场景	200	10.7 Cloud Foundry 与容器	213
10.3 Cloud Foundry 架构和功能	200	10.7.1 Cloud Foundry 的容器 技术	213
10.3.1 Cloud Foundry 架构	201	10.7.2 Warden 与 Docker	215
10.3.2 Router	202	10.8 Cloud Foundry 与 OpenStack	215
10.3.3 UAA	202	10.9 小结	217
10.3.4 Cloud Controller	203		



云计算

在过去的几年里，云计算已成为新兴技术产业中最热门的领域之一，也是继个人计算机、互联网变革后的第三次 IT 浪潮，它将给生活、生产方式和商业模式等带来根本性的变革。据 Gartner 预测，到 2018 年，由于云计算的发展和普及，70% 的专业人士将携带自有终端设备办公。云计算“一云多端”的特性将软件从本地硬件解放出来，也就是说，有了云计算，以前需要在本地进行的计算，大部分都可以基于互联网通过远程实现。这就是说，软件不再仅仅局限于某一个硬件设备。

作为一种技术和服务模式，云计算使得计算资源成为向大众提供服务的社会基础设施，它将对信息技术及其应用产生深刻影响。软件工程方法、网络和端设备的资源配置、获取信息和知识的方式等，无不因云计算而产生重大变化，它改变了信息产业现有业态，催生了新型的产业和服务。云计算带来了社会计算资源利用率的提高和计算资源获得的便利性，推动了以互联网为基础的传感网和物联网的迅速发展，并将更加有效地提升人类精准地感知世界、认识世界的能力，从而影响经济发展和社会进步。

1.1 云计算定义

对云计算 (Cloud Computing) 的定义有多种说法。对于到底什么是云计算，不同的人有不同的理解。在云计算发展的不同阶段，云计算的核心技术和服务方式也在不停地变化。现阶段广为人们所接受的是美国国家标准与技术研究院 (NIST) 的定义：云计算是一种按使用量付费的模式，这种模式提供可用的、便捷的、按需的网络访问，进入可配置的计算资源共享池 (资源包括网络、服务器、存储、应用软件、服务)，这些资源能够被快速地提

供，只需投入很少的管理工作，或服务供应商进行很少的交互。

2009年，中国云计算专家委员会对云计算做了定义：云计算是一种基于互联网的计算方式，通过这种方式，共享的软硬件资源和信息可以按需提供给计算机和其他设备。

1.2 云计算发展历史

1983年，Sun公司就提出“网络是计算机”（The Network is the Computer）的概念，并推出了相关的工作站产品。

1999年，VMware推出了针对x86系统的虚拟化技术，旨在解决提升资源利用率方面存在的很多难题，并将x86系统转变成通用的共享硬件基础架构，以便使应用程序环境在完全隔离、移动性和操作系统方面有选择的空间，为云计算技术的发展和推广打下了基础。

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（SES San Jose 2006）上首次提出“云计算”的概念。Google“云端计算”源于Google工程师克里斯托弗·比希利亚所做的Google 101项目。

云计算的概念和理论基础首次出现在学术界。2007年10月，Google与IBM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、加州大学柏克莱分校及马里兰大学等，推广云计算的计划，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（包括数百台个人电脑、BladeCenter与System x服务器，这些计算平台提供了1600个处理器，支持Linux、Xen、Hadoop等开放源代码平台），而学生则可以通过网络开发各项以大规模计算为基础的研究计划。

2008年1月30日，Google宣布在中国台湾地区启动“云计算学术计划”，与台湾台大、交大等学校合作，将这种先进的云计算技术大规模、快速地推广到校园。

2008年2月1日，IBM公司宣布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）。

2008年7月29日，雅虎、惠普和英特尔宣布一项包括美国、德国和新加坡在内的联合研究计划，推出云计算研究测试床，以推进云计算。该计划要与合作伙伴创建6个数据中心作为研究试验平台，每个数据中心配置1400~4000个处理器。这些合作伙伴包括新加坡资讯通信发展管理局、德国卡尔斯鲁厄大学Steinbuch计算中心、美国伊利诺伊大学香槟分校、英特尔研究院、惠普实验室和雅虎公司。

2008年8月3日，美国专利商标局网站信息显示，戴尔申请了“云计算”（Cloud Computing）商标，此举旨在加强对这一未来可能重塑技术架构的术语的控制权。

2010年3月5日，Novell与云安全联盟（CSA）共同宣布一项供应商中立计划，名为“可信任云计算计划”（Trusted Cloud Initiative）。

2010年4月8日，由剑桥大学发起的开源虚拟机Xen项目发布了4.0.0正式版。它支

持 64 个虚拟 CPU，主机支持 1 TB RAM 和 128 个物理 CPU，推动云计算的加速发展。

2010 年 7 月，美国国家航空航天局以及 Rackspace、AMD、英特尔、戴尔等支持厂商共同宣布了 OpenStack 开放源代码计划。微软在 2010 年 10 月表示，支持 OpenStack 与 Windows Server 2008 R2 的集成；而 Ubuntu 已把 OpenStack 加至其 11.04 版本中。

观察图 1-1 所示的 Gartner 2014 新兴技术成熟度曲线，我们可以发现，云计算技术已经进入泡沫化的低谷期，即将进入爬升和高峰期。据业内预计，Gartner 2015 新兴技术成熟度曲线中将不再出现云计算技术，这表示云计算已不再是“新兴”技术，而成为“主流”技术了。随着云计算技术的成熟，OpenStack、KVM 等开源项目的不断成熟，VMware、IBM、惠普等云计算产品在行业市场的不断推广，以及 Google、腾讯、百度、阿里巴巴等互联网企业对云计算的广泛应用，云计算作为主流技术，正无时无刻改变和影响着人们的生活，已经成为我们生活中必不可少的一部分。

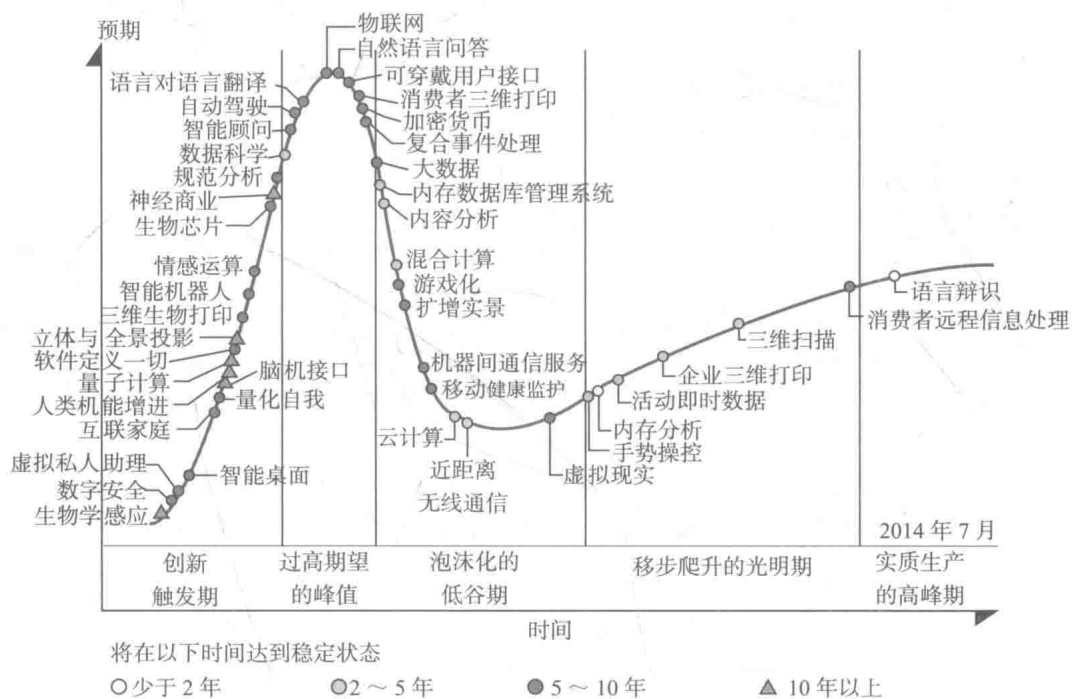


图 1-1 新兴技术成熟度曲线

1.3 云计算的特征

云计算包括狭义的云计算和广义的云计算。狭义的云计算指 IT 基础设施的交付和使用模式，通过网络以按需、易扩展的方式获得所需资源，对应着云计算 IaaS 服务，目前业界如阿里云、亚马逊云都属于狭义云计算服务的范畴。广义的云计算指服务的交付和使用模

式，通过网络以按需、易扩展的方式获得所有服务，通常通过互联网来提供动态的、易扩展的且经常是虚拟化的资源。这种服务可以是提供 IT 基础设施、软件或互联网相关的各种服务，也可以是其他类型的服务，如 IaaS、PaaS、SaaS 都属于广义云计算的范畴。“云”是网络、互联网的一种比喻说法，也用来表示互联网和底层基础设施的抽象。

通过使计算分布在大量的分布式计算机上，而非本地计算机或远程服务器中，企业数据中心的运行将与互联网更相似。这使得企业能够将资源切换到需要的应用上，根据需求访问计算机和存储系统，类似于从传统的单台发电机模式转向电厂集中供电的模式。它意味着计算能力也可以作为一种商品进行流通，就像天然气、水、电一样，取用方便，费用低廉。而最大的不同在于，它是通过互联网进行传输的。

互联网上的云计算服务特征和供电、供水具有一定的相似性，应该具备以下几条特征：

- 基于虚拟化技术快速获取资源并部署服务。
- 根据服务负荷，动态地、可伸缩地调整服务对资源的使用情况。
- 按需求提供资源，按使用量付费。
- 通过互联网提供面向海量信息的处理。
- 用户可以方便地通过互联网门户网站参与使用。
- 可以减少用户终端的处理负担，降低用户终端的成本。
- 降低用户对于 IT 专业知识的依赖。
- 虚拟资源池为用户提供弹性服务。

云计算的含义包含以下两个方面：

1) IT 硬件资源的云化，或者说 IT 资源的一种组织方式，称为 IT 资源池。这个池也是一种 IT 系统，但这个池中的 IT 资源不是孤立的，而是构成一个有机体，可以动态配置、灵活扩展、自动化管理。这个池用“云”这个概念来表示。

2) IT 资源的使用模式，即服务化。过去 IT 资源是在用户端本地部署和使用的，现在是在云端部署的，并且以服务的方式对用户提供的 IT 资源。用户通过网络访问这些服务。这种使用模式的好处是服务可以随时、随地、按需地获得，并根据资源使用情况付费。这种使用模式用“云服务”这个概念来表示。

1.4 IT 建设的云计算趋势

云计算成为 IT 领域最令人关注的话题之一，也是当前大型企业、互联网的 IT 建设正在考虑和投入的重要领域。云计算的提出，引发了新的技术变革和新的 IT 服务模式。在这个过程中，企业内部 IT 服务模式经历了 3 个阶段。

第一阶段：企业 IT 大集中过程

在这一过程中，企业将分散的数据资源、IT 资源进行了物理集中，形成了规模化的、集中的数据中心基础设施，在这一过程中，也实现了企业 IT 资产的统一管理以及自动化运

维。在数据集中过程中，不断实施数据和业务的整合，大多数企业的数据中心基本上完成了自身的标准化，使得既有业务的扩展和新业务的部署能够规划、可控，并以企业标准进行IT业务的实施，解决了数据业务分散时期的混乱无序问题。在这一阶段中，很多企业在数据集中后期也开始了容灾建设，特别是在自然界雪灾、大地震之后，企业的容灾中心建设普遍受到重视。以金融行业为例，在银监会、证监会的规范要求下，整个行业都开展了容灾建设，并且大部分容灾建设的级别都非常高，都是面向应用级容灾（以数据零丢失为目标）。总的来说，第一阶段解决了企业IT分散管理和容灾的问题。

第二阶段：实施虚拟化的过程

在数据集中与实现容灾之后，随着企业的快速发展，数据中心IT基础设施扩张速度加快，但是系统建设成本高、周期长，即使是标准化的业务模块建设（哪怕是系统的复制性建设），软硬件采购成本、调试运行成本与业务实现周期并没有显著下降。标准化并没有给系统带来灵活性，集中的大规模IT基础设施出现了系统利用率低下的问题，不同的系统运行在独占的硬件资源中，效率低下而数据中心的能耗、空间问题逐渐凸显出来。因此，以降低成本、提升IT运行灵活性、提升资源利用率为目的的虚拟化开始在数据中心进行部署。虚拟化屏蔽了不同物理设备的异构性，将基于标准化接口的物理资源虚拟化为在逻辑上也完全标准化和一致化的逻辑计算资源（虚拟机）和逻辑存储空间。虚拟化可以将单台物理服务器虚拟成多台，在每台服务器上运行多种应用的虚拟机，实现物理服务器资源利用率的提升。由于虚拟化环境可以实现计算与存储资源的逻辑化变更，特别是虚拟机的克隆，使得数据中心IT实施的灵活性得到大幅度提升，业务部署周期可由数月缩短到一天。虚拟化后，应用以VM为单元部署运行，数据中心服务器数量可大为减少，且计算能效提升，使得数据中心的能耗与空间问题得到控制。

总的来说，第二阶段提升了企业IT架构的灵活性，使数据中心的资源利用率有效提高，而运行成本降低。同时由于虚拟机克隆技术的出现，业务部署周期大幅度缩短。

第三阶段：云计算阶段

对企业而言，数据中心的各种系统（包括软硬件与基础设施）是一大笔资金投入。一方面，新系统（特别是硬件）在建成后一般经历3~5年即面临逐步老化，需要更换，而软件技术则将面临不断升级的压力。另一方面，IT的投入难以匹配业务的需求，即使进行了虚拟化也难以解决不断增加的业务对资源变化的需求，在一定时期内扩展性总是有所限制。于是企业IT产生新的期望蓝图：IT资源应能够弹性扩展、按需服务，将服务作为IT的核心，提升业务敏捷性，进一步大幅度降低成本。因此，面向服务的IT需求开始演化到云计算架构上。云计算架构可以由企业自己构建，也可采用第三方云设施，但基本趋势是企业将逐步采取租用IT资源的方式来实现业务需要，如同水力、电力资源一样，计算、存储、网络将成为企业IT运行的一种被使用的资源，无需自己建设，可按需获得。从企业角度而言，云计算解决了IT资源的动态需求和最终成本问题，使得IT部门可以专注于服务的提