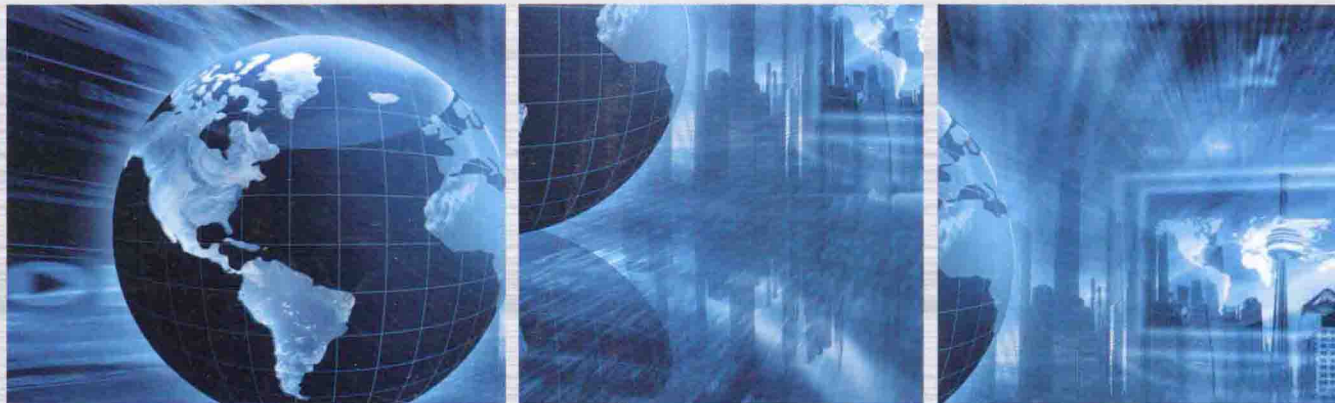




信息安全国家重点实验室信息安全丛书

云计算安全体系

陈驰 于晶 等 编著



科学出版社

信息安全国家重点实验室信息安全丛书

云计算安全体系

陈 驰 于 晶 等 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是《信息安全国家重点实验室信息安全丛书》之一。全书主要内容涵盖了云计算安全各个方面的问题,如云计算概念、云计算技术的发展历程、云计算面临的各种安全风险、云计算安全架构、云计算安全部署、云计算物理安全、云计算虚拟化安全、云计算数据安全、云计算应用安全、云计算安全管理、云计算安全标准和安全评估及业界云计算安全发展动态等。

本书可作为广大计算机用户、系统管理员、计算机安全技术人员,以及对云计算安全感兴趣的企业管理人员的技术参考书;也可用作高等院校信息安全、计算机及其他信息学科的高年级本科生或研究生的教材,以及用作信息安全职业培训的教材。

图书在版编目(CIP)数据

云计算安全体系/陈驰等编著. —北京:科学出版社, 2014

(信息安全国家重点实验室信息安全丛书)

ISBN 978-7-03-040735-1

I. ①云… II. ①陈… III. ①计算机网络—安全技术 IV. ①TP393.08

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第109141号

责任编辑:鞠丽娜 童安齐 袁莉莉/责任校对:王万红

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年6月第一版 开本:889×1194 1/16

2014年6月第一次印刷 印张:20 1/4

字数:400 000

定价:88.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026 (HA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

在 2007 年的存储中国年度峰会上，有位演讲嘉宾提到一个新概念：在将来的某一天，我们会像使用自来水和电能那样便捷的获取存储，通过一条最普通的网线即可链接到海量的存储空间而不需要亲自采购和维护复杂的存储设备。虽然在当时，大家谈得更多的还是网格计算、NAS 和 SAN 等热门技术，但我依然有种隐约的预感，这个新潮的概念一定会变成现实，而且不会像电力的普及那样让我们经历一个世纪的漫长等待。2013 年，当我拿起手机从百度云盘中取回自己的文件时，甚至连网线都不需要！构想中的一切，在不到 6 年的时间全部实现了。

2010 年，李德毅院士在第二届中国云计算大会上讲了一个生动的故事：一个老太太把钱装进盒子藏在床底下，每天因为担心被人偷走而惴惴不安；另一个则把钱都存进银行，花钱只要刷卡，存款还有利息，十分的潇洒。在现今的时代，信息已成为企业的核心资产，为什么企业不把数据存进“云”银行呢？听完这个故事，相信很多人都会产生把数据存进“云银行”里挣点利息的冲动。然而，在开始行动之前，企业的决策者却需要考虑很多现实的问题，而这些问题往往与安全相关：

- (1) 云服务提供商的物理设施可靠吗？
- (2) 虚拟化的环境安全吗？
- (3) 数据的安全有保证吗？
- (4) “云”提供的应用可信吗？
- (5) 云计算系统有安全性评价标准吗？
- (6) 我们应该使用何种安全强度的云？
- (7) 云服务提供商会不会滥用我的数据？

如果不解答这些问题，企业的决策者在尝试转向云计算模式时都会产生犹豫，毕竟，云服务提供商并不需要为决策的损失负责。近 2 年来，云计算的安全问题已经成为产业界和科研领域的讨论焦点。云服务提供商努力营造一个安全的云环境，为用户企业转向云计算模式消解安全顾虑。科研人员也就具体的云安全问题展开研究，提供安全解决方案。

然而，国内外与云计算安全相关的书籍却并不多，现有的书籍或多或少具有这样的特点：要么专注于云计算环境下某项技术的发展，要么仅仅侧重于管理体系的介绍，并没有从安全体系的层次对云计算安全问题进行全面、系统的分析。本书从不同云计算模式的风险分析开始，将技术、管理和标准并重，使读者全面了解云计算所面临的安全风险，以及应对这些安全风险的有效手段，并尝试给出建立安全云计算环境的解决方案。本书

创新性的将云计算安全体系划分为云计算安全技术体系、云计算安全管理体系和云计算安全标准及技术规范体系，即保障云计算安全所需的安全技术、维护云环境安全运行的管理措施以及云计算安全性的评价标准和评估方法。本书共分十章，各章节的具体安排如下：

第一章是云计算概论，描述云计算的发展历程，定义什么是云计算及云计算的特征，介绍云计算的交付模式和部署方式，分析云计算所具有的优势；此外还阐述云计算在中国的发展，使读者对云计算有一个初步的认识。

第二章分析云计算所面临的安全风险，从技术、管理、法律法规、行业应用四个维度对云计算所面临的风险进行全面剖析；使读者能够清晰地认识到云计算在安全性上所面临的各种挑战。

第三章从宏观的角度阐述了云计算安全架构，包括云计算安全的内涵与特征，云计算安全参考模型，云计算安全应对策略；并从云计算安全技术体系，云计算安全管理体系与法律法规，云计算安全标准及评估三个方面构建了云计算安全的核心架构；最后，阐述了云计算中心安全建设的核心思想。

第四章主要内容为云计算的物理安全。物理安全是云计算安全的第一道防线，本章将从物理设备安全、物理介质安全、物理环境安全及物理安全综合保障四个方面来阐述保障云计算物理安全的有效措施。

第五章对虚拟资源安全进行全面描述。虚拟化技术是云计算的核心，如何保障虚拟资源安全成为保障云计算安全的关键，本章首先介绍了虚拟化技术，分析了虚拟资源安全隐患及对虚拟资源的安全攻击，并从宿主机关安全机制、Hypervisor 安全机制、虚拟机隔离机制、虚拟机安全监控、虚拟机安全防护与检测五个维度分析了保障虚拟化安全的有效方法。

第六章描述云计算环境中的数据安全，用户将数据托管到云计算环境中，用户对数据失去了控制权，用户的数据面临着机密性、完整性和可用性的威胁，如何保障云中数据的安全性将在本章做详细描述。

第七章描述云中各种应用面临的威胁以及预防攻击的有效措施。云应用是驱动云计算发展的关键因素，而云应用安全建设是云应用真正“落地”的重要保障，本章从传统信息系统应用层防护技术开始探索，提出云计算环境下保障云应用安全的解决方法。

第八章主要阐述如何安全高效地管理云计算中心。云计算安全管理是云计算安全技术得以实施和运维的重要保障，本章首先介绍了信息安全管理国际标准，然后结合现有信息安全管理的方法制定云计算安全管理流程，并就云计算安全管理的重点领域进行细致分析，为云计算安全管理建设提供参考意见。

第九章主要讨论云安全标准和云安全评估策略。本章将从私有云的构

建和如何选择云服务提供商两个方面来讨论云计算安全相关标准，然后从云计算安全测评研究现状、面临的挑战、测评方法、测评指标体系四个方面来讨论云计算安全测评及策略。

第十章描述了目前国内外云计算安全领域的新进展。本章首先介绍了国内外云计算安全发展动态，并描述了中国在云计算安全领域的国家战略；然后从安全即服务的角度分析了云计算给安全服务带来的优势和挑战；最后，讨论了云计算安全对移动互联网、物联网、大数据技术的发展带来的影响，使读者能够对当前的研究热点、技术发展动态有较为全面的了解。

本书的知识体系清晰，通俗易懂，注重知识与技术的系统性，可作为广大计算机用户、系统管理员、计算机安全技术人员，以及对云计算安全感兴趣的企业管理人员的参考书；可用作信息安全、计算机及其他信息学科高年级本科生或硕士研究生的教材；同时也可用作信息安全职业培训的教材。

全书的选题和大纲由陈驰提出，第一、五、七章由陈驰和马红霞编写，第二、六、八章由于晶和翟梅洁编写，第三、四、十章由陈驰和于晶编写，第九章由陈雪秀编写。全书由于晶和董滨负责统稿、校对和审定。

本书凝结了作者的辛勤汗水，从构思、写作、修改到出版，作者得到业界和科研领域许多同仁的无私帮助，在此要对他们致以最衷心的感谢。感谢公安部第三研究所信息安全等级保护评估中心的陈雪秀警官，她在等级保护评测方面具有多年的经验，为本书提供很多有益的建议，并亲自完成第九章的写作。感谢中国科学院新疆理化技术研究所的李晓所长和蒋同海书记，作为新疆维吾尔自治区天山云计划的咨询专家，他们为本书的写作提供了很好的建议。感谢西北星公司的张岩总经理和曾文潇副总经理，作为新疆云计算中心的承建和运维方，他们从云平台建设者和管理者的角度为本书的撰写提供了建议和帮助。

本书的出版还得到科学出版社的大力支持，并得到中国科学院先导专项课题（XDA06010701）、新疆维吾尔自治区科技计划项目（201230121）、国家自然科学基金项目（61003228）、中国科学院信息工程研究所“青年之星”专项项目的支持和资助，在此一并表示感谢。

本书代表作者及其研究团队对于云计算安全的观点，由于水平有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正，得以改进和完善。

目 录

前言

第一章 云计算概论	001
1.1 云计算发展历程	002
1.1.1 云计算产生背景	003
1.1.2 云计算演进历程	005
1.2 云计算的概念	007
1.2.1 什么是云计算	007
1.2.2 云计算的特征	009
1.3 云计算的交付模式	010
1.3.1 基础设施即服务 (IaaS)	011
1.3.2 平台即服务 (PaaS)	011
1.3.3 软件即服务 (SaaS)	012
1.3.4 三种云服务的对比	013
1.4 云计算的部署方式	014
1.4.1 部署方式	014
1.4.2 部署方式的过渡	015
1.5 云计算的优势	017
1.6 云计算在中国	018
1.6.1 中国云计算产业发展现状	019
1.6.2 中国云计算发展趋势	022
1.7 小结	024
主要参考文献	024
第二章 云计算风险分析	026
2.1 云计算面临的技术风险	027
2.1.1 IaaS层风险分析	028
2.1.2 PaaS层风险分析	032
2.1.3 SaaS层风险分析	035
2.2 云计算面临的管理风险	038
2.2.1 云服务无法满足 SLA	038
2.2.2 云服务不可持续风险	039
2.2.3 身份管理	040
2.3 法律法规风险	041
2.3.1 数据跨境	042

2.3.2	隐私保护	043
2.3.3	犯罪取证	043
2.3.4	安全性评价与责任认定	044
2.4	行业应用风险	045
2.4.1	电子政务云	045
2.4.2	电子商务云	047
2.4.3	教育云	049
2.5	小结	050
	主要参考文献	051
第三章	云安全架构	053
3.1	云计算与云安全	055
3.1.1	云安全内涵	055
3.1.2	云安全特征	056
3.1.3	云安全定位	056
3.2	云安全参考模型	057
3.2.1	CSA 模型	057
3.2.2	云立方体模型	059
3.3	云安全应对策略	061
3.3.1	CSA 安全指南	061
3.3.2	美国联邦政府云安全策略	062
3.4	云安全技术、管理及标准	063
3.4.1	云安全技术体系	065
3.4.2	云安全管理体系与法规	068
3.4.3	云安全标准及评估	073
3.5	云计算中心安全建设	075
3.5.1	安全建设原则	076
3.5.2	安全建设核心思想	076
3.5.3	最佳实践	078
3.6	小结	080
	主要参考文献	081
第四章	云计算安全:物理安全	082
4.1	物理安全概述	082
4.1.1	物理安全概念	082
4.1.2	物理安全威胁	083
4.1.3	物理安全体系	084
4.2	云物理设备安全	085
4.2.1	防盗防毁	086

4.2.2	防电磁泄漏	086
4.2.3	电源保护	088
4.2.4	设备保护	089
4.3	介质安全	089
4.3.1	介质的安全管理	090
4.3.2	移动介质安全	090
4.3.3	介质信息的消除与备份	092
4.4	云物理环境的安全	092
4.4.1	机房选址	092
4.4.2	电能供给	093
4.4.3	火灾防护	095
4.4.4	“四防”与“三度”	096
4.5	物理安全综合保障	098
4.5.1	安全区域划分	098
4.5.2	人员保障	101
4.5.3	综合部署	102
4.6	小结	104
	主要参考文献	104
第五章	云计算安全:虚拟化安全	105
5.1	虚拟化技术概述	105
5.1.1	虚拟化技术的发展	106
5.1.2	虚拟化概念	107
5.1.3	虚拟化类型	109
5.2	虚拟化安全隐患	112
5.2.1	虚拟机蔓延	112
5.2.2	特殊配置隐患	115
5.2.3	状态恢复隐患	116
5.2.4	虚拟机暂态隐患	116
5.3	虚拟化安全攻击	117
5.3.1	虚拟机窃取和篡改	117
5.3.2	虚拟机跳跃	117
5.3.3	虚拟机逃逸	118
5.3.4	VMBR 攻击	119
5.3.5	拒绝服务攻击	120
5.4	虚拟化安全解决方法	120
5.4.1	宿主机安全机制	121
5.4.2	Hypervisor 安全机制	122

5.4.3	虚拟机隔离机制	127
5.4.4	虚拟机安全监控	130
5.4.5	虚拟机安全防护与检测	133
5.5	小结	138
	主要参考文献	138
第六章	云计算安全:数据安全	141
6.1	云计算带来新的数据安全问题	142
6.1.1	云数据安全问题分析	142
6.1.2	责任与权力	144
6.2	云数据隔离	146
6.2.1	数据分级	146
6.2.2	访问控制	147
6.3	密文云存储	151
6.3.1	数据加密	151
6.3.2	密文检索	152
6.3.3	密钥管理	163
6.4	云端数据完整性验证	167
6.4.1	云用户主导	168
6.4.2	可信第三方	169
6.5	数据可用性保护	171
6.5.1	多副本技术	171
6.5.2	数据复制技术	174
6.5.3	容灾备份	175
6.6	数据删除	180
6.6.1	数据销毁技术	180
6.6.2	安全删除技术	181
6.7	小结	182
	主要参考文献	183
第七章	云计算安全:应用安全	188
7.1	云应用概述	188
7.1.1	云应用	189
7.1.2	云应用的发展现状	190
7.2	云应用面临的安全问题	192
7.2.1	用户管控	193
7.2.2	Web 安全问题	196
7.2.3	内容安全问题	197
7.2.4	应用迁移风险	198

7.3	4A 体系建设	198
7.3.1	账号管理	201
7.3.2	身份认证	202
7.3.3	统一授权	209
7.3.4	安全审计	211
7.4	安全防护与检测	215
7.4.1	Web 应用防火墙技术	215
7.4.2	入侵检测技术	216
7.4.3	UTM 技术	217
7.5	安全迁移	218
7.5.1	迁移前评估	218
7.5.2	迁移过程	219
7.5.3	迁移后安全管理	222
7.6	小结	222
	主要参考文献	223
第八章	云计算安全管理	224
8.1	信息系统安全管理标准	225
8.1.1	信息系统安全管理标准分类	225
8.1.2	信息系统安全管理的相关国内外标准	226
8.1.3	云安全管理标准框架	227
8.2	云安全管理流程	229
8.2.1	规划	230
8.2.2	实施	231
8.2.3	检查	237
8.2.4	处理	238
8.3	云安全管理重点领域分析	238
8.3.1	全局安全策略管理	238
8.3.2	网络安全管理	241
8.3.3	安全监控与告警	242
8.3.4	事故响应	244
8.3.5	人员管理	245
8.4	小结	248
	主要参考文献	248
第九章	安全标准及安全评估	250
9.1	安全标准研究现状	251
9.1.1	国外云安全标准研究现状	251
9.1.2	国内云安全标准研究现状	256

9.2	云平台构建的安全标准	259
9.2.1	传统信息系统安全相关标准	259
9.2.2	云平台构建安全标准	262
9.3	选择云服务提供商的安全标准	265
9.3.1	云服务提供商选择	265
9.3.2	云服务提供商安全要约	267
9.4	云计算安全测评	269
9.4.1	云安全测评研究现状	269
9.4.2	云安全测评面临的挑战	274
9.4.3	云安全测评的方法	276
9.4.4	云安全测评指标体系	279
9.5	小结	281
	主要参考文献	282
第十章	云安全的新进展	284
10.1	云平台的安全实践	284
10.1.1	国外发展概况	285
10.1.2	国内发展概况	287
10.1.3	国家战略	290
10.2	安全即服务	291
10.2.1	简介	292
10.2.2	发展现状	294
10.2.3	选择安全云服务的建议	297
10.3	云安全问题外延	298
10.3.1	移动互联网	299
10.3.2	物联网	303
10.3.3	大数据	306
10.4	小结	309
	主要参考文献	310



第一章 云计算概论

云计算，一项促使各国政府纷纷发布战略计划、不惜巨资投入发展的 IT 技术，一块吸引各大 IT 巨头争先恐后规划建设、凝智聚力抢占先机的市场沃土，一个引发各级研究机构争相讨论、孜孜探索的研究热点，一种吸引众多 IT 人士、高校学生争相了解、主动学习的专业知识，一种惠及普通大众、应用潮流势不可挡的信息服务，在短短数年之内以一种席卷全球的姿态迅速、高调地进入了人们的视野，毫不犹豫地站在了 IT 技术与产业的浪潮之巅。

初识云计算，人们不禁都会问上一句：“什么是云计算？”确实，上面种种描述都没有给出一个确切的云计算概念。即使我们现在将云计算的定义背出来，大多数人还是会一脸茫然、不知所云。因此，我们不妨先来看看一些云计算实例。

Amazon 的 S3 为 Web 应用程序开发者提供了租用存储资源的服务，EC2 为 Web 程序开发者提供了租用计算能力的服务，利用这些服务，Web 程序开发者可以不必购买自己的硬件和软件，直接通过简单的 Web 服务界面轻松地 Amazon 那里获取并配置计算、存储等资源，来开发和运行自己的应用。Rackspace 陆陆续续发布了云主机、云站点、云存储、云备份等一系列云产品，来为企业或个人用户提供物理托管、云托管、虚拟化、存储备份等云服务。Google 的 Google App Engine 为 Web 应用程序开发者提供了一个开发简单、部署方便、伸缩快捷的 Web 应用运行和管理平台，开发者可以在 Google App Engine 上免费发布和运行自己的应用程序，免费使用多达 500MB 的存储空间以及能够支持每月约 500 万页面浏览量的足够 CPU 和带宽，并且可以根据需求购买更多的计算资源。Salesforce 基于网络向企业用户提供在线 CRM 销售云和服务云，使企业用户可以避免购买硬件、开发软件等前期投资以及后期复杂的运营管理问题。

2013 年 11 月 11 日全天，淘宝和天猫商城承载了几亿网民、350.19 亿元交易额巨大流量，该项成功的背后功臣其实是阿里巴巴致力研发的云计算及大数据处理技术。腾讯微信自 2011 年 1 月推出后仅 14 个月内，注册用户就达到了 2 亿，每天调用 3.5 亿次以上；“腾讯 Q+”上线一年以

来，注册开发者超过 30 万，日活跃用户超过百万的应用近 50 款，第三方月活跃用户突破 2 亿，开放平台的收入分成已经超过 10 亿元以上。2012 年 8 月，百度建立了首个自建云计算中心，使用了百度自主研发的高性能 ARM 存储服务器，CPU 总量高达 70 万颗、280 万核，云计算中心的计算能力遥遥领先于亚洲其他已经落成及正在建设的云计算中心，有效地保证了百度数据处理、服务提供的稳定性和可靠性。

以上这些案例涵盖了目前国内外较为领先的云服务提供商，不仅直观地描述了云计算的服务方式，也体现出云计算的典型特征以及优势，如资源共享、按需分配、弹性调度、服务可扩展。同时，这些案例也足以充分说明，云计算已经不再止步于一个单薄的技术概念，各 IT 企业已经纷纷致力于开发、推出云计算服务，努力在云计算商业模式和服务方式方面不断创新；政府部门、大中小型企业以及公众用户也在有意或无意地使用云计算服务，不知不觉地推动着云计算的发展。中国乃至全球的 IT 服务市场正在加速步入云时代。

1.1 云计算发展历程

云计算是信息和通信技术产业的一项重大变革，如同当初的电力变革一样。云计算的理念同电力产业非常相似，不同之处在于云计算概念从提出到落地仅仅只用了几年时间。

一百多年前，在那个没有公共电力设施的时代，每个企业都需要使用自己的发电机单独发电来维持生产，运营维护的成本远远高于现在；当公用电网建成以后，企业逐渐转为从大型的电力系统按需购买价格低廉、可靠性高的电力，不仅大大减少了自身的生产成本，还节省了以前维护发电设备的人力、物力资源，更提高了企业发展的灵活性和可靠性。这种看似简单的模式转变却被誉为人类工程科学史上最重要的成就之一。那么，在信息技术领域里，是否也将会有与之相类似的演变呢？正如图 1.1 描绘的那样，企业可以像用电一样来使用信息系统的资源。

云计算，这样一个众所周知的 IT 名词，正是信息技术历经半个多世纪的发展和演变而催生出的全新技术理念。

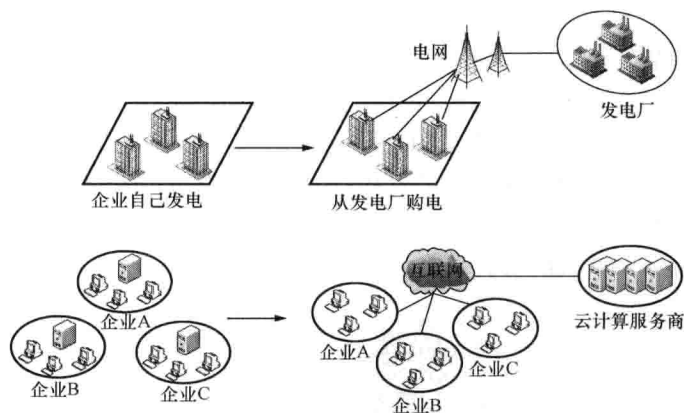


图 1.1
像用电一样使用信息系统

1.1.1 云计算产生背景

从 20 世纪 40 年代世界上第一台电子计算机诞生至今，计算模式经历了集中计算（大型机、小型机）、个人计算机、互联网等几个重要时代，如图 1.2 所示。在过去的二十年里，互联网的发展和普及使整个社会发生了翻天覆地的变化，不仅全世界的企业和个人被连接起来，企业的业务运作和人们的生活方式也被深刻地影响着、改变着。随着技术的不断提高，越来越多的应用软件都转变为以服务的形式被互联网发布和访问，互联网的作用也越来越广泛和丰富，它不再局限于最初的浏览网页和收发电子邮件，还能够为政府部门提供诸如电子政务、信息系统管理等服务；为企业提供诸如电子商务、客户关系管理等服务；为科研机构提供诸如强大的计算处理能力等服务；为普通用户提供诸如博客、视频、网上购物等服务。

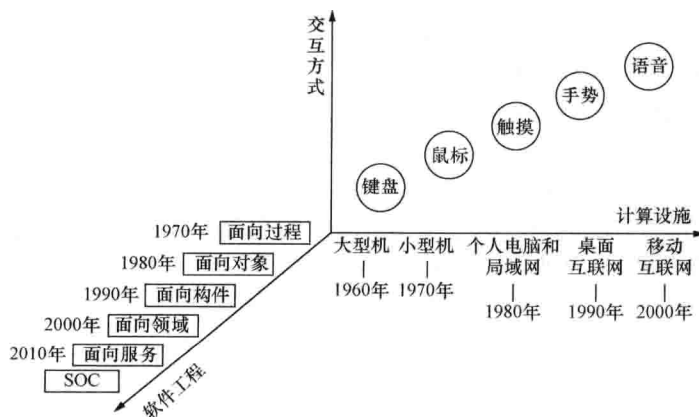


图 1.2
云计算技术演进过程

与此同时，随着网络带宽的显著提高，无线接入方式也更加丰富，个人 PC、智能手机、平板电脑甚至家用电器等越来越多的终端设备已经具备了接入互联网的能力，用户通过社交网站、游戏网站、视频网站、购物网站等形式对互联网内容的贡献也在以前所未有的速度增加。不仅如此，在

这个信息爆炸的时代，借助互联网技术的快速发展，新闻、娱乐、广告等各种信息的数量也在以超乎人们想象的速度增长着。

这种日益增长的服务需求和海量数据的巨大冲击必然给现有的计算模式带来诸多挑战。如何存储海量的数据资源？如何保证网络服务的效率？如何满足高要求的计算能力？如何提高资源的利用效率？如何最大程度地降低能耗、实现绿色环保？如图 1.3 所示，云计算是需求、技术、经济 and 环境保护等因素共同驱动产生的结果。

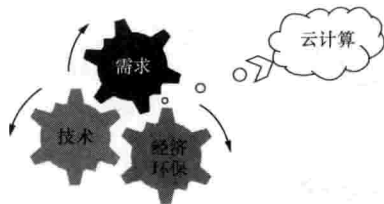


图 1.3
云计算的产生驱动力

1) 需求驱动

随着经济和社会信息化的大发展，尤其是移动互联网和物联网的兴起和广泛应用，海量信息的存储、计算等处理需求也在迅猛增加；互联网服务需要更加便捷、灵活地提供；各类现代应用需要满足普适化、智能化等一系列要求；用户希望不再需要购买、安置和维护各种软硬件设备，希望能够高效率、低成本、随时按需地获取 IT 服务来加快部署、研发和收益的速度。诸如实时的信息获取、全面的信息分析、按需即用的计算资源、随需应变的业务流程等服务对效率和成本的需求在日益增长，催化着云计算快速向前发展。

2) 技术驱动

芯片和硬件技术的飞速发展，虚拟化技术的渐渐成熟和不断运用，面向服务架构 SOA 思想的提出和广泛应用，软件即服务理念的出现，互联网技术的快速发展，Web 2.0 技术的产生和流行，都为云计算的发展奠定了技术基础，如表 1.1 所示。

表 1.1 云计算发展的技术基础

技术基础	作用于云计算
芯片和硬件技术的飞速发展	使得硬件能力激增、成本大幅下降，建造大型数据中心成为可能，为云服务提供商构建公有云、企业机构用户构建私有云创造了条件
虚拟化技术的成熟和运用	使得云计算中的计算、存储、应用和服务等能够变成资源，并可以被动态扩展和配置，最终使云计算能够在逻辑上以单一整体的形式呈现
面向服务架构 SOA 的广泛应用	为云中资源与服务的组织方式提供了可行的解决方案，使得云计算可以通过标准化、流程化和自动化的松耦合组件为用户提供服务，构成一个有层次的完整的应用运行平台

续表

技术基础	作用于云计算
软件即服务的出现	使得云计算可以为那些曾经无法拥有专业计算中心和 Web 应用的客户提供只有实力雄厚的大公司才能够负担得起的 IT 基础设施和应用
互联网技术的发展	使得云计算中跨地域的资源共享与服务提供成为可能,使得用户通过互联网使用远程云端的服务成为可能,从而在用户和云间搭起了宽阔的桥梁
Web 2.0 技术的产生和流行	Web 应用的开发周期越来越短,因而能提供给用户更加快捷、更具吸引力的服务,为云计算的产生提供了有利条件

3) 经济和环境保护驱动

2008 年爆发并持续恶化的金融危机使得 IT 厂商们不得不寻求新的降低成本、提高资源利用率的商业模式,进而推动着全球产业结构的调整和升级;2009 年的哥本哈根世界气候大会使得世界各国无法再忽视环境保护的重要性,从而加速了节能减排时代的到来。此时,具备合理配置计算资源、提升计算资源利用率、减少初期投资、降低运营成本、促进节能减排、实现绿色计算等优势云计算快速受到 IT 企业和各国政府的青睐,一跃成为重点扶植和发展的关键技术。

1.1.2 云计算演进历程

顺应时代潮流而出现的云计算自 2006 年被提出后迅速崛起,在科学技术领域掀起了一股风起云涌的热潮,短短几年内就被人们所熟知。然而,云计算的思想起源可以追溯到 20 世纪 60 年代。表 1.2 为云计算发展历程中的一些重大事件。

时间	事 件
1961 年	人工智能之父约翰·麦卡锡提出了把计算能力作为一种像水和电一样的公用事业提供给用户的理念,这被认为是云计算思想的起源
1983 年	Sun 公司提出“网络就是计算机”的口号,用于描述分布式计算技术带来的新世界,恰好描绘了今天云计算的工作方式
2003 年	美国国家科学基金投资 830 万美元支持由七所顶尖院校提出的“网络虚拟化和云计算 VGrADS”项目,正式启动了云计算的研发序幕
2006 年 3 月	Amazon 相继推出在线存储服务 S3 和弹性计算云 EC2 等服务
2006 年 8 月 9 日	Google 首席执行官埃里克·施密特在搜索引擎大会 (SES San Jose, 2006) 首次提出“云计算”的概念
2007 年 10 月	Google 与 IBM 开始在美国大学推广云计算的计划,希望能降低分散式计算技术在学术研究方面的成本,并为大学提供相关的软硬件设备及技术支持

表 1.2 云计算发展历程