



云计算 核心技术剖析

吴朱华 编著

- 一线云计算专家倾情奉献
- 深入分析多种云计算核心技术
- 通过实例教你编写简化版的BigTable



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING 图灵程序设计丛书



云计算 核心技术剖析

吴朱华 编著

图书在版编目 (C I P) 数据

云计算核心技术剖析 / 吴朱华编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2011.5
(图灵程序设计丛书)
ISBN 978-7-115-25219-7

I. ①云… II. ①吴… III. ①计算机网络 IV.
①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第062025号

内 容 提 要

本书分为四大部分: 第一部分为理论篇, 主要介绍云计算理论方面的知识; 第二部分为产品与技术篇, 深入剖析多个顶尖云计算产品的实现, 介绍了云计算中非常重要的系统虚拟化技术和安全方面的机制; 第三部分为实践篇, 将选择云的核心模块之一——分布式数据库作为实践的方向, 并以 YunTable 这个云时代的 BigTable 为例, 给大家演示如何手动编写和设计一个分布式数据库; 最后一部分为展望篇, 预测了云计算和整个科技事业未来的发展。

本书适合所有云计算开发人员学习和参考。

图灵程序设计丛书 云计算核心技术剖析

- ◆ 编著 吴朱华
责任编辑 王军花
- ◆ 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>
北京艺辉印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 18.75
字数: 443千字 2011年5月第1版
印数: 1-4 000册 2011年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-25219-7

定价: 49.00元

读者服务热线: (010)51095186转604 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

序 一

IBM 作为全球云计算产业的开创者和领导者，不仅在国内推出了类似蓝云和盘古这样领先的云计算解决方案，而且在云计算方面培养了一批创新研发人才，本书作者吴朱华就是其中出色的一位。他曾在 IBM 中国研究院从事云计算研发，并且以工作勤奋著称，所以我很乐意为他写这本书的推荐。

和现在大多数云计算图书主要关注理论和基础知识不同，本书注重市场领先的云计算技术，主要从 Google App Engine、Salesforce Force.com、Amazon EC2、Cisco UCS 和系统虚拟化等出发点进行讲解，帮助读者理解云计算在各个层面的技术和应用。然后，以作者亲身实践的 YunTable 为例，详细剖析了一个云数据库的实现。总体来说，本书对于那些希望快速获知云计算核心技术的程序员非常有帮助。

最后，我希望各位读者读完本书后有所收获，在工作中更上一层楼。

陈 滢

IBM 中国研究院首席云计算架构师

序 二

云计算是近年来非常热门的一个词，其含义已经跨越了学术和科技界，融入到了许多社会行业。但到底什么是云计算？是一个运营模式，还是一种技术产品，还是兼而有之？

许多人对此感到很迷惑，吴朱华的这本书恰好很好地回答了上述问题。此外，这本书兼具学术研讨、工程应用和科技普及的价值。

读过本书后，我觉得它对相关专业的大学高年级学生和研究生、研发公司相应产品线的技术人员和从事相关行业战略规划的人甚为有用，实为一本不可多得的好书。

我是通过“弯曲评论”认识吴朱华的，非常佩服他在云计算和当代数据库趋势等各方面的知识积累和创新能力。

他这种花费大量时间和精力把自己所学回馈给社会的精神值得我们肯定、学习并发扬光大。在未来 10 年，云计算一定会在社会各个层面开花结果，甚至会影响到人们生活的细微之处。希望本书能帮助读者开阔视野、增长知识、提升技能。

陈怀临

“弯曲评论”创办人和首席科学家

前言

“想要 One Piece 吗？那就去找吧，我的一切都在那里，在那伟大航道的尽头！”

——海贼王，哥尔·D. 罗杰

如果你不知道什么是 One Piece，千万不要伤心，因为这只能说明你很成熟。One Piece 来自于一部非常经典的漫画《海贼王》，指“神秘的宝藏”，也就是海贼王哥尔·D. 罗杰留下来的财富。这本书描述了男主角“草帽”蒙其·D. 路飞为了得到 One Piece 并当上“海贼王”，而与其伙伴共同踏上“伟大航道”（Grand Line）一起去冒险的经历。读到这里，读者肯定在心中充满了疑问：到底云计算和 One Piece 有什么关系？且听我慢慢道来。

其实去年年中我才开始接触已经被视为新“四大名著”之一的《海贼王》。刚开始的时候，我主要是为了欣赏传说中“女帝”的风采。但是随着剧情的发展，我慢慢地喜欢上了《海贼王》，也开始像很多朋友那样每天都期盼周日能早点到来，因为每周日会有最新一集的动画版《海贼王》。在《海贼王》中我们能看到很多令人感动的东西，比如小冯与路飞的真挚友情、艾斯那永不退缩的性格和草帽海贼团生死与共的团队精神等。其中最让我感动的，莫过于有无数海贼为了得到传说中的 One Piece，在严酷和危险的伟大航道上不知疲倦地冒险和拼杀。每当看到此情此景，我都会联想到自己专注的云计算领域。为什么国内外那么多 IT 工作者，都像我一样对云计算充满热切的期望，并为之不懈奋斗？什么是云计算的 One Piece？什么东西让我们如此着迷于云计算，如此坚信云计算必将改变这个世界，并推动整个世界的发展？

要回答这些问题，不得不提到一本书，就是这本书使我对云计算的看法从过去的不屑转变为现在的坚信，这本书就是尼古拉斯·卡尔所著的《大转变：重新认识世界——从爱迪生到 Google》。这本书描述了整个 IT 产业正在经历一个类似电力从发电机发电到电厂供电的巨大转变。这本书不仅改变了我的人生，更是开创了 IT 领域的“大海贼时代（云计算时代）”。我个人认为这本书在历史上的地位完全可以同托马斯·弗里德曼的名著《世界是平的》相媲美，堪称“云计算的圣经”。这本书最关键和核心的部分，就是开头关于电力发展史的介绍。由于电力的出现，使大型工业水车这些低效率的动力设备成为了历史，并使发电机成为各个工厂核心设备，同时世界历史上最伟大的发明家爱迪生，在这段时间也因为其通用电气公司而赚足了钱。就在那个发电机为王的时代，爱迪生的徒弟兼私人秘书塞缪尔·英萨尔却发现了集中供电在成本和使用这两方面巨大的优越性，这使其产生了建立电厂的想法。当然，这些想法在爱迪生看来肯定是

很愚蠢的，因为在他眼中发电机已经足够强大了。但是随着能长距离传输的交流电技术不断成熟，英萨尔的电厂想法在技术上有了非常坚实的基础，只是在安全性方面交流电和传统的直流电技术相比略有欠缺。之后英萨尔就带领自己的团队开始在美国的芝加哥实践他关于电厂的想法。在实践过程中，不仅技术上遇到了很多挑战，而且商业上也面临着用户的不解，同时更受到早已被人们奉若神明的爱迪生的嘲讽。但是最后由于电厂的规模效益不断增大，电力的价格也随之降低，而且用户使用起来更方便，无需维护和购买任何发电设备。最终，导致电厂几乎成为了唯一的供电方式，而发电机则成为只有少数企业才使用的“奢侈品”。

仔细想来，电力技术的发展和 IT 技术的发展是何等相似。大型工业水车不由使人们联想起当年 IBM 的穿孔卡片设备。现在的企业数据中心则是过去每个工厂必备的发电机的翻版，能让电力长距离传输的交流电技术就好比现在让信息四通八达的互联网，而将来的云计算中心则和现在的电厂像是一个模子刻出来的。虽然历史不会简单地重复，但是通过这些对比，应该能让我们对云计算的未来充满信心，并一起去追求云计算的 One Piece，那就是使用信息和应用程序就像用电一样便捷，而且成本低廉。比如，能随时随地通过小型和廉价的终端（比如手机和平板电脑）来接入网络，并能通过网络使用各种功能强大的应用程序和访问海量的信息，而且按需使用，也没有昂贵的前期投入。还有，企业也可以通过将其整个 IT 基础设施外包来降低其运营成本，专注其主营业务。

本书将引导大家进入云计算这个绚烂的新世界。全书分为四大部分：第一部分为理论篇，主要介绍云计算理论方面的知识；第二部分为产品与技术篇，将深入剖析多个顶尖云计算产品的实现，帮助大家理解云计算是如何设计和实现的，并介绍云计算中非常重要的系统虚拟化技术和安全机制；第三部分为实践篇，将选择云的核心模块之一——分布式数据库作为实践的方向，并以 YunTable 这个云时代的 BigTable 为例，给大家演示如何手工编写和设计一个分布式数据库；最后一部分为展望篇，让我们来猜想和预测一下云计算和整个 IT 产业未来的发展。

目 录

第一部分 理论篇

第 1 章 云计算的概念	2
1.1 什么是云计算	2
1.1.1 云计算的优点	2
1.1.2 云计算的特点	3
1.2 云计算的由来	4
1.2.1 思想演化	4
1.2.2 技术支撑	5
1.3 云计算的诞生	7
1.3.1 SaaS 的诞生	7
1.3.2 “IT 不再重要”的发表	7
1.3.3 Google 的三大核心技术	7
1.3.4 AWS 的推出	8
1.3.5 IBM 和 Google 的合作	8
1.4 云计算的成长	8
1.5 云计算的影响	10
1.5.1 服务器供应商	10
1.5.2 软件开发商	11
1.5.3 云终端供应商	11
1.5.4 云供应商	11
1.5.5 整个 IT 产业	12
1.6 云计算的使用场景	12
1.6.1 IDC 云	12
1.6.2 企业云	12
1.6.3 云存储系统	12
1.6.4 虚拟桌面云	13
1.6.5 开发测试云	13
1.6.6 大规模数据处理云	13
1.6.7 协作云	13
1.6.8 游戏云	14

1.6.9 HPC 云	14
1.6.10 云杀毒	14
第 2 章 云计算的架构	16
2.1 云的架构	16
2.1.1 SaaS	17
2.1.2 PaaS	19
2.1.3 IaaS	21
2.1.4 云管理层	22
2.1.5 架构示例	25
2.2 云的 4 种模式	27
2.2.1 公有云	27
2.2.2 私有云	28
2.2.3 混合云	30
2.2.4 行业云	30

第二部分 产品与技术篇

第 3 章 Google App Engine	34
3.1 Google 的云计算产品	34
3.1.1 SaaS 层	34
3.1.2 PaaS 层	36
3.1.3 IaaS 层	36
3.1.4 云客户端	36
3.2 Google 的核心技术	39
3.2.1 分布式基础设施	39
3.2.2 分布式大规模数据处理	42
3.2.3 分布式数据库技术	43
3.2.4 数据中心优化技术	45
3.3 Google 的设计思想和整体架构	46
3.3.1 设计思想	46
3.3.2 整体架构	48

3.4 Google App Engine 简介.....	50	4.3 Force.com 的多租户架构 (上)	76
3.4.1 历史	50	4.3.1 总体架构	76
3.4.2 功能	51	4.3.2 元数据驱动	77
3.4.3 使用流程	51	4.3.3 应用服务器	77
3.4.4 主要组成部分	51	4.3.4 共享数据库	78
3.4.5 编程模型	54	4.4 Force.com 的多租户架构 (下)	78
3.4.6 限制和资费	55	4.4.1 应用服务器的模块	78
3.5 Google App Engine 的使用	56	4.4.2 数据库表的设计	79
3.5.1 例子	56	4.4.3 Apex	80
3.5.2 搭建环境	56	4.5 总结	81
3.5.3 初始化项目	56	4.5.1 设计理念	81
3.5.4 编写数据库代码	58	4.5.2 经验教训	81
3.5.5 添加 Web 处理方法	59		
3.5.6 测试和部署	60	第 5 章 系统虚拟化	83
3.6 Google App Engine 的架构	62	5.1 系统虚拟化简介	83
3.6.1 设计理念	62	5.1.1 虚拟化的概念	83
3.6.2 架构	62	5.1.2 系统虚拟化的概念	83
3.6.3 流程	63	5.1.3 系统虚拟化技术的分类	84
3.6.4 Python 版和 Java 版的区别	64	5.1.4 系统虚拟化的用处	87
3.7 本地测试服务器的设计	64	5.2 x86 虚拟化技术	88
3.7.1 架构	64	5.2.1 虚拟机的 3 大特征	88
3.7.2 工作流程	65	5.2.2 为什么 x86 架构很难被虚拟化	88
3.8 Datastore 的设计	66	5.2.3 CPU 虚拟化	89
3.8.1 使用方面	66	5.2.4 内存虚拟化	89
3.8.2 实现方面	67	5.2.5 I/O 虚拟化	90
3.9 总结	69	5.2.6 总结与预测	90
3.9.1 注意点	69	5.3 VMware vSphere 的简介	91
3.9.2 最佳实践	69	5.3.1 VMware 的思路	91
3.9.3 适用场景	70	5.3.2 VMware vSphere	92
3.9.4 对未来的期望	70	5.4 VMware ESX 的架构	95
		5.4.1 Service Console	95
第 4 章 Salesforce Force.com	72	5.4.2 VMKernel	96
4.1 Salesforce 简介	72	5.5 虚拟网络	99
4.1.1 公司历史	72	5.5.1 简介	99
4.1.2 Salesforce 的整体架构	73	5.5.2 虚拟网卡	100
4.1.3 Force.com	73	5.5.3 虚拟交换机	101
4.2 多租户的介绍	74	5.6 动态迁移背后的奥秘	105
4.2.1 概念	74	5.6.1 动态迁移的实现机制	105
4.2.2 多租户技术的优缺点	75	5.6.2 动态迁移今后的挑战	106
4.2.3 常见的多租户模型	75	5.7 虚拟器件	107

5.7.1 虚拟器件的定义	108	6.1.2 产品类别	136
5.7.2 虚拟器件的主要组成部分	108	6.1.3 产品特点	137
5.7.3 虚拟器件的生命周期	109	6.1.4 成功案例	138
5.7.4 虚拟器件的好处	110	6.2 Amazon EC2 简介	138
5.7.5 虚拟器件的不足之处	111	6.3 Amazon EC2 的主要模块	139
5.7.6 业界支持	112	6.3.1 AMI	139
5.7.7 虚拟器件与云计算	112	6.3.2 实例	140
5.8 OVF 协议	112	6.3.3 存储	140
5.8.1 OVF 信封	113	6.3.4 安全方面	141
5.8.2 OVF 环境文件	113	6.3.5 可用区	142
5.8.3 使用流程	114	6.3.6 网络方面	142
5.9 VMware 的云计算计划	115	6.3.7 Web 管理界面	142
5.9.1 VMware vCloud Express	115	6.3.8 API	143
5.9.2 VMware vCloud Director	116	6.4 Amazon EC2 的使用	143
5.9.3 VMforce	119	6.4.1 准备账号	143
5.10 Xen 的架构	119	6.4.2 创建实例	144
5.10.1 Xen 简介	120	6.4.3 启动服务	148
5.10.2 半虚拟化技术介绍	120	6.5 Amazon EC2 的优缺点	148
5.10.3 Xen 的架构	121	6.5.1 优点	148
5.11 Xen 的实现机制	122	6.5.2 不足之处	149
5.11.1 超级调用	122	第 7 章 Cisco UCS	151
5.11.2 vCPU 调度	123	7.1 什么是 UCS	151
5.11.3 中断虚拟化	123	7.2 UCS 的架构	151
5.11.4 内存管理	124	7.2.1 Cisco UCS 6100 系列互联阵列	152
5.11.5 I/O 系统	124	7.2.2 Cisco UCS 管理程序	152
5.11.6 信息传递	124	7.2.3 Cisco UCS 2100 系列扩展模块	153
5.11.7 时间管理	125	7.2.4 Cisco UCS 5100 系列刀片机箱	153
5.12 Intel VT 技术	125	7.2.5 Cisco B 系列刀片服务器	153
5.12.1 VT-x	126	7.2.6 Cisco UCS 网络适配器	154
5.12.2 EPT	129	7.3 UCS 的核心技术之内存扩展	154
5.12.3 VT-d	130	7.3.1 Xeon 5500 内存架构	154
5.12.4 VT-c	131	7.3.2 思科的内存扩展技术	156
5.13 最新的进展	132	7.4 UCS 的核心技术之 VN-Link	157
5.13.1 VMware vSphere 4.1	132	7.4.1 虚拟网络的难题	157
5.13.2 Xen 4.0	133	7.4.2 Cisco Nexus 1000V 的方案	157
5.13.3 Intel VT 的 PLE 技术	134	7.4.3 NIV 的方案	158
第 6 章 Amazon EC2	135	7.5 UCS 的核心技术之统一网络	159
6.1 AWS 的概况	135	7.5.1 数据中心的现状	159
6.1.1 简介	135	7.5.2 统一网络简介	160
		7.5.3 统一网络的基石	160

7.5.4 不足之处	162	9.2 BigTable 的架构	178
7.6 为虚拟化而生	162	9.3 BigTable 的数据模型和调用接口	179
7.6.1 虚拟化的目标	163	9.3.1 数据模型	180
7.6.2 服务器整合	163	9.3.2 调用接口	181
7.6.3 简化系统管理	163	9.4 BigTable 的存储模型	181
7.6.4 加速应有部署	164	9.4.1 Tablet 的运行机制	182
第 8 章 云计算的安全	165	9.4.2 SSTable 的介绍	182
8.1 云计算安全的概念	165	9.4.3 Compaction 机制	183
8.1.1 新的挑战	166	9.5 BigTable 的分布式模型	183
8.1.2 现有安全系统的不足	166	9.5.1 综述	184
8.1.3 云计算的优势	167	9.5.2 Chubby	184
8.2 云计算安全的架构	167	9.5.3 如何定位 Tablet	185
8.2.1 云客户端	168	9.5.4 如何分配 Tablet	186
8.2.2 云端	168	9.6 BigTable 的文件系统	187
8.2.3 第三方机构	170	9.6.1 GFS 简介	187
8.3 Salesforce Force.com 的安全机制	170	9.6.2 GFS 的架构	188
8.3.1 整体监管和合规性	170	9.6.3 GFS 与 BigTable 的协作	191
8.3.2 用户管理	171	9.7 BigTable 的优化技术	191
8.3.3 数据管理	171	9.7.1 局部性群组	191
8.3.4 系统和网络	171	9.7.2 压缩	192
8.3.5 物理设施	171	9.7.3 通过缓存提高读操作的性能	192
8.4 AWS 的安全机制	172	9.7.4 Bloom 过滤器	192
8.4.1 整体监管和合规性	172	9.7.5 提交日志的实现	193
8.4.2 用户管理	172	9.7.6 利用不变性	193
8.4.3 数据管理	172	9.8 BigTable 的功能集	194
8.4.4 应用保护	173	9.8.1 论文中提到的特性	194
8.4.5 系统与网络	173	9.8.2 新特性	195
8.4.6 物理设施	174	第 10 章 YunTable 概览	197
8.5 为什么云计算更安全	174	10.1 为什么要开发 YunTable	197
8.5.1 安全管理方面	174	10.2 YunTable 的目标	198
8.5.2 高可用性方面	174	10.2.1 0.2 版的主要目标	198
8.5.3 数据安全方面	175	10.2.2 一些限制	199
8.5.4 人才方面	175	10.3 YunTable 的数据模型	199
8.5.5 广域网方面	175	10.4 YunTable 的命令行	199
8.5.6 总结	175	10.4.1 Add 命令	200
第三部分 实践篇		10.4.2 Put 命令	200
第 9 章 深入分析 BigTable	178	10.4.3 Get 命令	200
9.1 BigTable 简介	178	10.5 YunTable 的架构	200
		10.5.1 Master 节点	201

第四部分 展望篇

第 12 章 云计算的未来..... 264

12.1	云计算的服务模式	264
12.1.1	比较	264
12.1.2	未来的竞争	265
12.2	云计算的商业模式	266
12.2.1	“超市”模式	266
12.2.2	“电厂”模式	267
12.2.3	“超市”模式和“电厂” 模式的区别	269
12.2.4	超市还是电厂	269
12.3	云计算与中国	270
12.3.1	现状	270
12.3.2	对未来的期望	271
12.4	云计算最新技术	272
12.4.1	Facebook 的 Open Compute 项目	272
12.4.2	VMware 的开源 PaaS Cloud Foundry	273
12.4.3	YunEngine	273
12.5	聊聊科技产业的未来	274
12.5.1	潜在的优势	275
12.5.2	主要方向	275
12.5.3	驱动力	276
结尾		277
附录		278

Part 1

第一部分

理 论 篇

本 部 分 内 容

- 第 1 章 云计算的概念
- 第 2 章 云计算的架构



孟子云：“不以规矩，无以成方圆。”也就是说，“方圆”再怎么精彩和美丽，都离不开“规矩”的积淀和约束，这个道理对云计算也同样适用。如果读者对云计算本身有一定的认知和理解，那么就非常有助于今后对其相关技术和产品的学习，而本章就专注于云计算本身。在本章开始，我们将介绍云计算的定义和特点，接着将从思想和技术这两方面来分析云计算的由来，然后讲述一下云计算的诞生与成长，最后将重点介绍云计算对整个 IT 产业的影响和主要的应用场景。

1.1 什么是云计算

云计算到底是什么呢？

在我看来，云计算是新一代 IT 模式，在后端规模庞大、非常自动化和高可靠性的云计算中心支持下，人们只要接入互联网，就能非常方便地访问各种基于云的应用和信息，并免去了安装和维护等烦琐操作。同时企业和个人也能以低廉的价格来使用这些由云计算中心提供的服务，或者在云中直接搭建其所需的信息服务。在收费模式上，云计算和水电等公用事业非常类似，用户只需为其所使用的部分付费。

虽然云计算听起来非常不错，但是到底在哪些方面能体现出它的优势呢？

1.1.1 云计算的优点

对云计算的使用者（主要是个人用户和企业）来讲，云计算将会在用户体验和成本这两方面给他们带来很多非常实在的好处。

1. 用户体验

对个人用户而言，在云计算时代会出现越来越多的基于互联网的服务，这些服务丰富多样、功能强大、随时随地接入，无需购买、下载和安装任何客户端，只需使用浏览器就能轻松访问，也无需为软件的升级和病毒的感染操心。还有，人们可以将文档等数据放在云中来共享和协作，比如共同编辑同一篇文章，而且通过严格的权限管理机制来确保协作是在安全的环境下进行的。对企业用户而言，可以利用云技术优化其现有的 IT 服务，使现有的 IT 服务更可靠、更自动化，

更可以将企业的 IT 服务整体迁移到云上，使企业卸下维护 IT 服务的重担，从而更专注于其主营业务。

2. 成本

对个人用户而言，由于他们所使用的服务运行在云端，本地计算需求比较少，所以无需像过去那样不断地升级计算机的配置或者购买昂贵的新计算机，只需一个廉价的可以上网的智能终端即可，比如手机和上网本等。同时由于互联网服务是按需使用的，所以无需在初期购置价格不菲的软件客户端。对企业用户而言，除了可以利用先进的云技术来降低企业 IT 初期的投资成本和后期的维护成本之外，还可以通过将 IT 服务外包或者整体迁移到外部的云中來削減 IT 部门的规模，使公司成本的结构更完善。

上面提到的一些云计算的优点都源自云计算自身的特点。

1.1.2 云计算的特点

云计算除了常见的超大规模、高可扩展性和按需服务的特点之外，还有自动化和节能环保等特点，总括起来，可以从 10 个方面来看。

- **超大规模。**大多数云计算中心都具有相当的规模，比如 Google 云计算中心已经拥有几百万台服务器，而 Amazon、IBM、微软、Yahoo 等企业所掌控的云计算规模也毫不逊色，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。
- **抽象化。**云计算支持用户在任意位置使用各种终端获取应用服务，所请求的资源都来自“云”，而不是固定的有形实体。应用在“云”中某处运行，但实际上用户无需了解也不用担心应用运行的具体位置，这样能有效地简化应用的使用。
- **高可靠性。**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，还在设施层面上的能源、制冷和网络连接等方面采用了冗余设计，以进一步确保服务的可靠性。
- **通用性。**云计算中心很少为特定的应用存在，但它有效支持业界大多数的主流应用，并且一个“云”可以支撑多个不同类型的应用同时运行，并保证这些服务的运行质量。
- **高可扩展性。**用户所使用的“云”资源可以根据其应用的需要进行调整和动态伸缩，并且再加上前面所提到的云计算中心本身的超大规模，“云”能够有效地满足应用和用户大规模增长的需要。
- **按需服务。**“云”是一个庞大的资源池，用户可以按需购买，就像自来水、电和煤气等公用事业那样根据用户的使用量计费，无需任何软硬件和设施等方面的前期投入。
- **廉价。**云计算中心本身规模巨大会带来经济性和提升资源利用率，并且“云”大都采用廉价和通用的 x86 节点来构建，因此用户可以充分享受云计算所带来的低成本优势，经常只要花费几百美元就能完成以前需要数万美元才能完成的任务。
- **自动化。**在云中，不论是应用、服务和资源的部署，还是软硬件的管理，主要通过自动

化的方式执行和管理，也极大地降低了整个云计算中心的人力成本。

- **节能环保。**云计算技术能将许许多多分散在低利用率服务器上的工作负载整合到云中，来提升资源的使用效率，而且云由专业管理团队运维，所以其 PUE (Power Usage Effectiveness, 电源使用效率) 值比普通企业的数据中心出色很多，比如 Google 数据中心的 PUE 值在 1.2 左右，即每 1 元钱的电力花在计算资源上，只需再花 2 角钱的电力在制冷等设备上，而常见的 PUE 在 2 和 3 之间。并且还能将云建设在水电厂等洁净资源旁边，这样既能进一步节省能源方面的开支，又能保护环境。
- **完善的运维机制。**在“云”的另一端，有全世界最专业的团队来帮用户管理信息，有全世界最先进的数据中心来帮用户保存数据。同时，严格的权限管理策略可以保证这些数据的安全。这样，用户无需花费重金就可以享受到最专业的服务。

这些特点使得云计算能为用户提供更方便的体验，同时还能降低使用成本，正因为如此，云计算才能脱颖而出并且被业界推崇。那么，云计算是怎么诞生的呢？

1.2 云计算的由来

虽然很多伟大的发明和技术在我们看来都是些突发奇想的产物，但真正探究起来，这些东西大多是通过一代人甚至几代人的积累演变而成的。其中最明显的例子莫过于计算机本身。早在 2000 多年前，我们中国人就发明了算盘这一强大的计算工具。1642 年，法国数学家帕斯卡在英国数学家奥特雷得所制作的“计算尺”的基础上，制成了能进行八位计算的“加法器”。1673 年，德国数学家莱布尼茨在巴黎制造了一个能进行加、减、乘、除及开方运算的计算器，名为“乘法器”。1820 年，英国人查尔斯·巴贝奇构想和设计了世界上第一台完全可编程的计算机，可惜由于当时技术条件和经费的限制，这台计算机未能在他有生之年问世。到了 20 世纪，艾伦·图灵的图灵机思想和新兴的电子技术都对最后 ENIAC 的问世起到了非常关键的作用。还有，我们耳熟能详但晦涩难懂的相对论也同样如此。如果没有麦克斯韦尔、迈克尔逊和洛仑兹等大师的积淀，恐怕爱因斯坦很难创立相对论。

难道“云计算”就是特例吗？云计算这个名词虽然只是 Google CEO 埃里克·施密特博士当年在 SUN 担任 CTO 时偶然想到的，但是其概念本身不仅和前言中提到的过去电力的发展密不可分，而且更是整个 IT 产业自然发展和演化的必然结果。这些发展和演化不仅表现在思想方面，更涉及技术方面的进步。

1.2.1 思想演化

云计算在思想方面主要经历了 4 个阶段才发展到现在这样比较成熟的水平，这 4 个阶段依次是电厂模式、效用计算、网格计算和云计算，如图 1-1 所示。



图 1-1 思想方面的发展历程

1. 电厂模式

由于 IT 行业本身是一个比较新的行业，所以从其他行业取经是其发展不可或缺的一步，比如从建筑行业引入“模式”这个概念。虽然在 IT 界，电厂这个概念不像“模式”那样炙手可热，但其影响是深远的，而且有许多许多的 IT 人在不断地实践着这个理念。电厂模式的意思是利用电厂的规模效应来降低电力的价格，并让用户使用起来更方便，且无需维护和购买任何发电设备。

2. 效用计算

在 1960 年左右，当时计算设备的价格是非常高昂的，远非普通企业、学校和机构所能承受，所以很多人产生了共享计算资源的想法。特别是在 1961 年，人工智能之父麦肯锡在一次会议上提出了“效用计算”(utility computing)这个概念，其核心借鉴了上面所提到的电厂模式，具体目标是整合分散在各地的服务器、存储系统以及应用程序来共享给多个用户，让用户能够像把灯泡插入灯座一样来使用计算机资源，并且根据其所使用的量来付费。接着，在 1966 年，D. F. Parkhill 在其经典著作《计算机效用事业的挑战》中也提出了类似的观点，但由于当时整个 IT 产业还处于发展初期，很多强大的技术还未诞生，比如互联网等，所以虽然这个想法一直都为人称道，但是总体而言“叫好不叫座”。

3. 网格计算

国内的技术人员无法领会网格计算(grid computing)的精髓和真谛可能主要是因为翻译的问题。网格计算中的网格，也就是“grid”，其英文原意并不是我们所认为的网格，而是电力的网格，所以其核心与上面的效用计算非常接近，但是它的侧重点略有不同。网格计算研究如何把一个需要非常巨大的计算能力才能解决的问题分成许多小的部分，然后把这些部分分配给许多低性能的计算机来处理，最后把这些计算结果综合起来攻克大问题。可惜的是，由于网格计算在商业模式、技术和安全性方面的不足，使得其并没有在工程界和商业界取得预期的成功。但在学术界，它还是有一定的应用的，比如用于寻找外星人的“SETI”计划等。

4. 云计算

云计算的核心与前面的效用计算和网格计算非常类似，也是希望 IT 技术能像使用电力那样方便，并且成本低廉。但与效用计算和网格计算不同的是，现在在需求方面已经有了一定的规模，同时在技术方面也已经基本成熟了。因此，与效用计算和网格计算相比，云计算的发展将更脚踏实地。

1.2.2 技术支撑

如果没有强大的技术以提供动力的话，云计算也只能是“空中楼阁”。如图 1-2 所示，云计算主要有 5 大类技术支持。

1. 摩尔定律

随着摩尔定律依旧推动着整个硬件产业的发展，芯片、内存和硬盘等硬件设备在性能和容