



高等职业教育计算机类课程新形态一体化规划教材

CETC
南京第 55 研究所

云计算技术与应用专业校企合作系列教材

云计算基础架构平台 构建与应用

主编 何淼 史律 曲文尧 副主编 陈永 任俊新 王兴君 主审 张克

智慧职教学习平台 / 微课视频 / 软件包 / 教学课件 PPT / 课程标准 / 电子教案 / 脚本文件



“互联网+”教材
“用微课学”系列

高等教育出版社



高等职业教育计算机类课程新形态一体化规划教材

CETIC
南京第 55 研究所

云计算技术与应用专业校企合作系列教材

云计算基础架构平台 构建与应用

主编 何淼 史律 曲文尧 副主编 陈永 任俊新 王兴君 主审 张克

智慧职教学习平台 / 微课视频 / 软件包 / 教学课件 PPT / 课程标准 / 电子教案 / 脚本文件

“互联网+”教材
“用微课学”系列



高等教育出版社·北京

云计算基础架构平台构建与应用

作者：宋立、张文尧、高洪君、宋晓、樊生海、侯文海、李文海、王海、周海

图书在版编目（CIP）数据

云计算基础架构平台构建与应用 / 何森, 史律, 曲文尧主编 . -- 北京 : 高等教育出版社, 2017.3
ISBN 978-7-04-047007-9

I. ①云… II. ①何… ②史… ③曲… III. ①云计算
- 高等职业教育 - 教材 IV. ①TP393.027

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 299561 号

策划编辑 张值胜 责任编辑 张值胜 封面设计 姜磊 版式设计 王艳红
插图绘制 杜晓丹 责任校对 刘春萍 责任印制 朱学忠

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	北京信彩瑞禾印刷厂	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
			http://www.hepmall.com
开 本	787mm × 1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	19.25	版 次	2017 年 3 月第 1 版
字 数	470 千字	印 次	2017 年 3 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	36.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 47007-00

III 内容提要

本书是以目前 IT 领域最热门的云计算技术为背景，面向云计算行业运维人员、技术开发人员以及高校云计算专业广大学生的实践教程。书中所用平台以及讲解内容为 2015 年和 2016 年全国高职技能大赛“云计算技术与应用”赛项官方指定平台以及考核内容。

本书以培养云计算行业中的云计算系统运维以及云计算系统开发工程师为主要目标，注重实际动手操作。全书分为三大部分共 13 章，第一部分（第 1~3 章）介绍云计算的定义、层次分类、产业现状以及主要的云计算产品的开发厂商；第二部分（第 4~11 章）以基于 OpenStack 开源云平台的产品实施为主线，全面介绍 OpenStack 基础架构平台中每个组件的主要功能及其实现，每章配备了详细的实训项目，在实训之后同时详解各个模块的安装脚本以及主要排错思路，所有的实训项目承上启下，一步一步构建了完整的 OpenStack 云平台；第三部分（第 12、13 章）详细介绍每个模块的运维命令行及其在界面上的对应操作，还介绍了云平台镜像的制作方法。

本书结构合理、层次分明，配套数字化资源，包括书中用到的所有软件平台、工具、电子教案、PPT、微课视频等。本书配套的数字课程已在“智慧职教”（www.icve.com.cn）平台上线，学习者可登录网站进行学习，也可通过扫描书中二维码观看教学视频，详见“郑重声明”页资源服务提示。

本书既可作为高校计算机、通信、云计算等相关 IT 专业课程的教材，也可作为全国高职技能大赛“云计算技术与应用”赛项指导用书，还可供广大云计算系统研究、开发以及运维人员参考。

III 前言

近年来，互联网产业飞速发展，云计算作为一种弹性 IT 资源的提供方式应运而生。目前，通过技术发展和经验积累，云计算技术和产业已进入一个相对成熟的阶段，成为当前信息技术产业发展和应用创新的热点。

云计算的发展也同时推动了大数据处理方式的变革和发展。在此背景下，越来越多的用户正逐步将自己的 IT 系统从传统架构向“云”架构迁移，既带来了 IT 基础设施和应用的革新，也带来了对人才的渴求。虽然各本科以及职业院校都有开设计算机网络、通信相关专业课程，但其专业课程内容相对陈旧、学生缺乏实践经验，因此就业压力越来越大。面对云计算、虚拟化、移动互联网等新技术的兴起，学生在校学习的知识、技能和实践经验需要更贴近行业发展和用户需求。目前，许多高校，特别是高职院校已开设或正在筹划开设云计算专业，多数院校已将云计算或大数据的课程纳入传统的计算机网络、通信、计算机软件、计算机应用等 IT 专业的人才培养方案。不仅 IT 相关专业的学生和老师以及相关 IT 从业者有这方面的学习需求和热情，而且很多来自政府、企业和应用领域的其他专业人士也有系统了解和应用云计算的迫切需求。

当前，国内云计算相关的教材较为匮乏，市面上虽然也有一些云计算相关的书籍，但这些书籍的内容大多只涉及云计算的宏观知识和概念介绍，或是行业的背景情况。很多今后要从事云计算行业的学生、工程师在初学时往往感觉内容空洞不知所措，更重要的是绝大部分的从业人员不希望仅仅停留在知道云计算的远景、概念，而更注重掌握在云计算行业中可以发挥作用的具体技能。同样，现今大量的云计算工程、产品部署、实施和应用，要求从业人员具备相关技术和工具使用的细节性技能，并具备宏观的产品对接调试、排错、运维等综合能力。2015 年 11 月，由全国工业和信息化职业教育教学指导委员会领导，组织江苏省教育厅、山东省教育厅、高等教育出版社、南京第五十五所以及国内部分高职院校的领导和专家成立“云计算技术与应用专业教材编审委员会”。编审委员会专家成员由：北京信息职业技术学院院长武马群，南京信息职业技术学院院党委书记张旭翔，无锡科技职业学院院党委书记曹建林，常州信息职业技术学院副校长眭碧霞，山东商业职业技术学院副校长徐红，重庆电子工程职业学院计算机学院副院长武春岭，北京联合大学教授盛鸿宇，贵州交通职业技术学院信息工程系主任王爱红，江苏省教育评估院院长杨权海，上海电子信息职业技术学院院长胡国胜，湖南工程学院网络信息中心主任廖毅，北京青年政治学院计算机系主任徐志立，湖南铁道职业技术学院院长首珩，南京第五十五所技术开发有限公司总经理余云峰，高等教育出版社电工电子与计算机分社分社长洪国芬等高职院校及行业企业领导和专家组成。

在编审委员会的指导下笔者策划并组织了本书的编写，书中首先介绍了云计算的基本概念、云计算行业的概况，在此之后重点以基于 OpenStack 开源基础架构云平台的产品（先电基础架构云平台）安装部署和运维为主线，系统地介绍 OpenStack 开源云平台中的各个关键组件的功能、技术参数、配置脚本以及排错思路。

南京信息职业技术学院何淼、史律、任俊新老师编写了本书的所有内容。山东商业职业技术学院曲文尧、江苏海事职业技术学院陈永、陕西国防学院王兴君负责本书前期的材料收集与整理，以及书中实训方案的论证。陕西职业技术学院张克负责了本书的审稿工作。

本书中所用平台软件均为 2015 以及 2016 年全国高职技能大赛“云计算技术与应用”赛项官方指定产品。该产品由中国电子科技集团公司下属成员单位第五十五研究所（南京第五十五所技术开发有限公司）负责研发。该单位致力于新一代信息技术产品研发，在教育行业努力实践产教融合、校企合作，积极推动院校云计算技术与应用专业共建，为本书的撰写提供了大力支持，在此表示诚挚的谢意。来自五十五所的工程师协助了书中实训实验部分程序的调试工作，在此一并致谢。

鉴于作者水平有限，书中难免存在不足和错误之处，恳望读者提出宝贵意见和建议。

编 者

2017年1月

III 目录

第一部分 云计算技术基础

第 1 章 云计算基本概念	3
1.1 计算模式的演变	4
1.2 云计算的定义	5
1.3 云计算的层次以及分类	9
1.4 国内外云计算产业现状	16
第 2 章 云计算知名厂商及其产品	19
2.1 VMware 的云计算技术及其相关产品	20

2.2 Citrix 的云计算技术	25
2.3 国内私有云相关产品	28
2.4 知名公有云平台简介	28
第 3 章 OpenStack 与先电 IaaS 云平台	35
3.1 OpenStack 技术简介	36
3.2 体验先电云平台	38

第二部分 先电 IaaS 云平台基础环境的构建

第 4 章 构建先电 IaaS 云平台的 环境准备	49
4.1 先电 IaaS 云平台的逻辑架构及其 实现	50
4.2 终端软件的使用	68
4.3 实训项目 1 先电 IaaS 云平台基本 环境配置	83
第 5 章 MySQL 数据库的安装及其 配置	91
5.1 MySQL 数据库功能简介	92
5.2 实训项目 2 MySQL 数据库的手动 安装与配置	97
5.3 MySQL 数据库安装脚本及其解读	101
第 6 章 Keystone 的安装及其配置	105
6.1 Keystone 功能详解	106
6.2 实训项目 3 Keystone 的手动安装 与配置	108
6.3 Keystone 安装脚本及其解读	116

第 7 章 Glance 的安装及其配置	119
7.1 Glance 功能简介	120
7.2 实训项目 4 Glance 的手动安装与 配置	121
7.3 Glance 安装脚本及其解读	129
第 8 章 Nova 的安装及其配置	133
8.1 Nova 功能简介	134
8.2 实训项目 5 Nova 的手动安装与 配置	140
8.3 Nova 安装脚本及其解读	148
第 9 章 Neutron 的安装及其配置	153
9.1 Neutron 功能简介	154
9.2 实训项目 6 Neutron 的手动安装 与外部环境配置	158
9.3 实训项目 7 Neutron 的主要服务 组件配置与网络创建	165
9.4 Neutron 安装脚本及其解读	175
第 10 章 Cinder 的安装及其配置	183

10.1 Cinder 功能简介	184	配置	199
10.2 实训项目 8 Cinder 的手动安装与 配置	188	11.1 Dashboard 功能简介	200
10.3 Cinder 安装脚本及其解读	194	11.2 实训项目 9 Dashboard 的安装与 配置	200
第 11 章 Dashboard 的安装及其		11.3 启动虚拟机实例及其排错案例	205
第三部分 先电 IaaS 云平台运维详解			
第 12 章 先电 IaaS 云平台各组件 运维	213	12.1 实训项目 10 Keystone 基本运维命令 及其应用	214
12.1 实训项目 10 Keystone 基本运维命令 及其应用	214	12.2 实训项目 11 Glance 基本运维命令 及其应用	226
12.3 实训项目 12 Nova 基本运维命令 及其应用	234	12.4 实训项目 13 Neutron 基本运维命令	
参考文献	296	12.5 实训项目 14 Cinder 基本运维命令 及其应用	262
821 一章初识云平台及云架构	8	第 13 章 虚拟机镜像文件的制作	283
821 一章初识云平台及云架构	8	13.1 实训项目 15 准备虚拟机镜像环境	284
821 一章初识云平台及云架构	8	13.2 实训项目 16 云平台 qcow2 格式 Windows 镜像制作	285
821 一章初识云平台及云架构	8	13.3 实训项目 17 云平台 qcow2 格式 Ubuntu 镜像制作	292

第一部分 云计算技术基础

第1章 云计算基本概念



本章导读

本章主要介绍云计算的发展以及演变模式，并从不同的角度分析、引出云计算的定义及其基本特点；在此基础上，介绍云计算的3层体系架构，即基础设施服务层（Infrastructure as a Service, IaaS）、平台服务层（Platform as a Service, PaaS）、软件服务层（Software as a Service, SaaS）及其功能；此后进一步阐述云计算根据其服务范围的分类，即公有云、私有云、混合云；最后介绍云计算产业国内外的发展现状。

电子资源

电子教案 云计算基本概念

PPT 云计算基本概念

习题 云计算基本概念

1.1 计算模式的演变

目前,IT技术的发展日新月异,传统的计算模式已经越来越难适应当今大数据的处理以及各类工程或科学计算任务。事实上,伴随着计算机的逐步普及和半导体技术的不断进步,计算模式已经历了几次大的变革,把这些变革总结归纳,主要包括4个阶段,即字符哑终端—主机、客户—服务器、集群计算和云计算。

1. 字符哑终端—主机

随着1964年第一台基于集成电路的通用电子计算机IBM 360问世,20世纪60~70年代,计算环境主要是主机(大型机)环境,字符哑终端—主机成为主要的计算模式。这种计算环境主要由一台功能强大、允许多用户连接的主机(大型机)组成,它不具备客户端。多个哑终端通过网络连接到主机,并可以与主机进行通信。哑终端一般只是主机的扩展,用户从终端键盘输入的信息被传到主机,然后由主机将执行的结果以字符方式返回到终端上。哑终端上没有任何程序和数据,所有的程序和数据都集中在主机上,并在主机上运行。主机处理多个用户发出的指令时,处理的方案一般为分时,即计算机把它的运行时间分为多个时间段,并且将这些时间段平均分配给用户指定的任务,轮流地为每一个任务运行一定的时间,如此循环,直至完成所有任务。

“字符哑终端—主机”是一种集中式的计算模式,可以实现集中管理,安全性也较好,但是,由于集中式的通信,很多任务如字处理软件的使用等就无法与主机进行交互。

2. 客户—服务器

集成电路的快速发展极大地降低了计算机的生产成本,从20世纪70年代末开始,计算机逐步进入家用市场。到了20世纪90年代,个人计算机开始普及,并且形成了相对统一的计算机操作系统,有了方便的计算机软件编程语言和工具。但是,由于个人计算机的计算和存储能力有限,仍有一些计算任务无法在单台个人计算机上完成。为此,“客户—服务器”的计算模式逐渐兴起,它允许应用程序分别在客户工作站和服务器上执行。客户工作站向服务器发送处理请求,而服务器处理结束后返回处理结果给客户工作站。

在分布式系统的发展历程中,“客户—服务器”模式扮演了重要角色。20世纪90年代,随着个人计算机的兴起,客户端的处理能力不断增强,促进了这一计算模式的快速发展。在这一模式中,客户端负责应用的呈现,服务器处理应用的逻辑并承担资源管理的任务。这种计算模式的好处是可以利用客户机的处理能力,降低服务器的运算负担,同时也使得针对不同个性的用户呈现不同的界面内容成为可能。然而,这种计算模式往往会造成客户端和服务器之间耦合紧密,可伸缩性差,服务器往往成为处理瓶颈。此外,一旦应用环境发生变化,需要改变业务逻辑,一般每个客户端的程序都要进行更新,给系统的维护和管理造成一定的困难。

3. 集群计算

“客户—服务器”计算模式可以将在单台个人计算机上无法完成的计算任务交给服务器协同来完成。但是,很多计算任务并不是单台普通的服务器能够完成的。这时,除了采



用更高性能的计算机作为服务器之外，性价比更高的办法是采用计算机集群。尤其是近年来随着硬件能力激增、成本大幅下降，使得通过在电力、能源等较为便宜的地方将硬件设备集中起来实现规模效应成为可能。一些有研发实力的机构或组织开始使用大量廉价的个人计算机或普通服务器来建立集群，从而实现大规模数据中心的功能。

计算机集群通过将一组松散的计算机软件和硬件连接起来，高度紧密地协作完成大型计算工作。集群系统中的单个计算机通常被称为节点，一般通过局域网连接。在某种意义上，它们可以被看作一台计算机。然而，由个人计算机或普通服务器构成的大规模集群面临很多具有挑战性的问题，如可用性和可靠性保障。目前，一台个人计算机或普通服务器的平均无故障运行时间一般是几年，而用几千台个人计算机或普通服务器构成的集群平均几个小时就会有一个节点出现故障。这些问题对集群体系结构、硬件和系统软件设计等都提出了新的挑战。

4. 云计算

集群计算将计算资源整合在一起，21世纪初，人们开始研究如何更加合理、高效地利用这样的计算资源，并以服务形式对外共享这些资源。“云计算”便在这样的思想中诞生，它是近十年来在IT领域出现并飞速发展的新技术之一。对于云计算中的“计算”一词大家并不陌生，而对于云计算中的“云”我们可以理解为一种提供资源的方式，或者说，提供资源的硬件和软件系统被统称为“云”。“云”中的资源在使用者看来是可以无限扩展的，并且可以随时获取、按需使用、随时扩展、按使用付费。“云计算”模式的出现是对计算资源使用方式的一种巨大的变革，有人打了个比方，从传统计算转向云计算就好比是从古老的单台发电机模式转向了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，就像煤气、水电一样，取用方便、费用低廉。最大的不同在于，它是通过互联网进行传输的。所以对于云计算，我们可以初步理解为通过网络随时随地获取到特定的计算资源。

1.2 云计算的定义

一、云计算的定义

通过上一节的介绍，我们不难看出云计算是一种新技术，同时也是一种新概念，一种新模式，而不是单纯地指某项具体的应用或标准。目前，许多人对云计算的理解就如同盲人摸象，不同的人从不同的角度出发就会有不同的理解，如图1.2.1所示。为了尽量准确而全面地理解云计算，了解云计算产业相关的方方面面，我们需要进一步了解来自业界的对于云计算的说法。

首先看看一些著名企业的观点，他们对于业界的众多厂商有着全面的了解，因而他们的说法有一定的中立性。

前Gartner研究副总裁Ben Pring认为，云计算正在成为一个大众化的词语。作为一个对互联网的比喻，“云”是很容易理解的。一旦同“计算”联系起来，它的意义就扩展了，而且开始变得模糊起来。

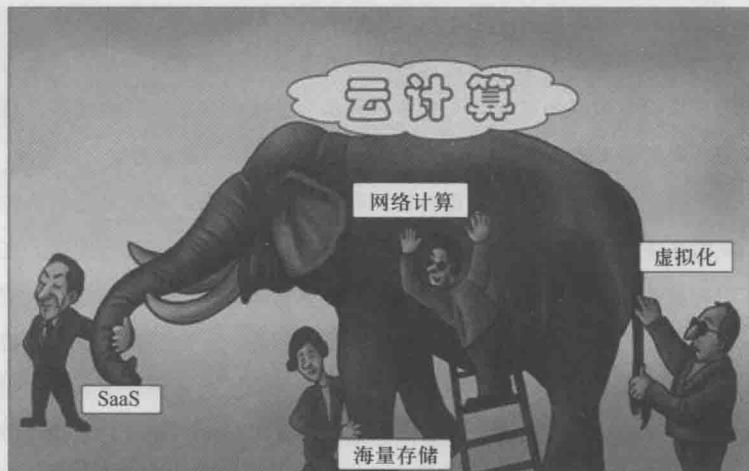


图 1.2.1
对云计算的理解如同盲人摸象

美林证券认为，云计算是通过互联网从集中的服务器交付个人应用（E-mail、文档处理和演示文稿）和商业应用（销售管理、客户服务和财务管理）。这些服务器共享资源，如存储、处理能力和带宽。通过共享，资源能得到更有效的利用，而成本也可以降低 80% ~ 90%。

而美国知名 IT 网站 InformationWeek 的定义则更加宽泛，其认为云计算是一个环境，其中任何的 IT 资源都可以以服务的形式提供。

就连财经媒体也对云计算很感兴趣。美国最畅销的日报《华尔街日报》也在密切跟踪云计算的进展。它认为云计算使得企业可以通过互联网从超大数据中心获得计算能力、存储空间、软件应用和数据采集，客户只需要在必要时为他使用的资源付费，而不用建立自己的数据中心并采购服务器和存储设备。

下面再来看看各个 IT 厂商的看法。

IBM 认为，云计算是一种计算风格，其基础是用公共或私有网络实现服务、软件及处理能力的交付。云计算的重点是用户体验，而核心是将计算服务的交付与底层技术相分离。在用户界面之外，云背后的技术对于用户来讲是不可见的，这使得云计算对于用户来说十分友好。云计算也是一种实现基础设施共享的方式，其中大的资源池在公共或私有网络中被连接在一起提供 IT 服务。云计算的推动力来自接入互联网设备的急剧增长、实时数据流、SOA 及 Web 2.0 应用的广泛出现，比如 Mashup、开放式协作、社会网络和移动商务。

微软认为，如果未来计算能力和软件全集中在云上，那么客户端就不需要很强的处理能力了，Windows 也就失去了大部分的作用。因此，微软的提法一直是“云 + 端”。微软设想，未来的计算模式是云端计算，而不是单纯的云计算。一字之差，带来的含义却大不相同。这里的端是指客户端，也就是说云计算一定要有客户端来配合。微软全球资深副总裁张亚勤博士认为：“从经济学角度来说，带宽、存储和计算不会是免费的，消费者需要找到符合他们需要的模式，因而端的计算一定是存在的；从通信的供求关系来说，虽然带宽增长了，但内容也在同步增长，比如视频、3G 图像等，带宽的限制总是存在的；从技术角度来说，端的计算能力强，才能带给用户更多精彩的应用。”其实微软对于云计算本身的定义并没有什么不同，只不过是强调了“端”在云计算中的重要性。

而在学术界，网格计算之父 Ian Foster 认为，云计算是一种大规模分布式计算的模式，其推动力来自规模化所带来的经济性。在这种模式下，一些抽象的、虚拟化的、可动态扩展和被管理的计算能力、存储、平台和服务汇聚成资源池，通过互联网按需交付给外部用户。他认为云计算的几个关键点是：大规模可扩展性；可以被封装成一个抽象的实体，并提供不同的服务水平给外部用户使用；由规模化带来的经济性；服务可以被动态配置（通过虚拟化或者其他途径），按需交付。

来自伯克利（Berkeley）大学的一篇技术报告则指出，云计算既是指透过互联网交付的应用，也是指在数据中心中提供这些服务的硬件和系统软件。前半部分即是 SaaS，而后半部分则被称为 Cloud。简单地说，其认为云计算就是“SaaS+ 效用计算（Utility computing）”。如果这个基础架构可以按照根据使用付费的方式提供给外部用户，那么这就是公共云，否则便是私有云。公共云即是效用计算，SaaS 的提供者同时也是公共云的用户。

根据以上这些说法不难发现，大家对于云计算的看法基本上还是一致的，只是在某些范围的划定上有所区别。现阶段广为接受的是美国国家标准与技术研究院（NIST）的定义，该定义如下，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），只需投入很少的管理工作，或与服务供应商进行很少的交互，就可以让这些资源能够被快速提供。来自维基百科上的定义也基本上涵盖了各个方面的看法，可以认为是比较中立和值得借鉴的。维基百科上对云计算的定义是这样的：云计算是一种计算模式，在这种模式下，动态可扩展而且通常是虚拟化的资源通过互联网以服务的形式提供出来，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，而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。

由以上的分析我们可以给出一个更加技术性的定义：云计算是一种模式，它实现了对共享可配置计算资源（网络、服务器、存储、应用和服务等）的方便、按需访问；这些资源可以通过极小的管理代价或者与服务提供者的交互被快速地准备和释放。

二、云计算的特点

1. 超大规模

大多数云计算数据中心都具有相当的规模，如图 1.2.2 所示。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

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，资源的放置、管理与分配策略对用户透明。

云计算是基于网络提供的一种服务，只要有网络，使用任何终端（笔记本电脑或手机等）都可以实时连接到云计算服务器，去享受云的服务。在享受服务的时候，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。



图 1.22 Amazon 超大规模的数据中心

3. 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，使用云计算比使用本地计算机更加可靠。此外，它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来进一步确保服务的可靠性。由于云计算系统由大量商用计算机组成集群向用户提供数据处理服务，随着计算机数量的增加，系统出现错误的概率大大增加，因而云计算系统在硬件部署上均有冗余设计，软件上也通过数据冗余和分布式存储来保证数据的可靠性。

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，而不影响系统整体的正常运行。

5. 高可扩展性

云计算系统是可以随着用户的规模进行扩张的，可以保证支持客户业务的发展。因为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，再加上前面所提到的云计算数据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。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。

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。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可以采用廉价的节点来构成云，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成本，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、几天时间就能完成以前需要高昂费用、数月时间才能完成的任务。

显然，组建一个采用大量的商业机组成的集群，相对于组建同样性能的超级计算机花费的资金要少很多。

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，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. 节能环保

云计算技术能将众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，所以其电源使用效率（Power Usage Effectiveness，PUE）值比普通企业的数据中心出色很多。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。

10. 高层次的编程模型

云计算系统提供高层次的编程模型。用户通过简单学习，就可以编写自己的云计算程序，在云系统上执行，满足自己的需求。现在云计算系统主要采用 MapReduce 模型。

11. 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。

此外，云计算还以其部署迅速、资源利用率高、易管理、几乎可以提供无限的廉价存储和计算能力等特性，而深受市场关注。这些特点使得云计算能为用户提供更方便的体验，它为人们解决大规模计算、资源存储等问题提供了一条新的途径。正因为如此，云计算才能脱颖而出，并被业界推崇。

1.3 云计算的层次以及分类

云计算可以按需提供弹性资源，它的表现形式是一系列服务的集合。因此，大多数学者以及工程技术人员将云计算的 3 层体系架构分为基础设施服务层（Infrastructure as a Service，IaaS）、平台服务层（Platform as a Service，PaaS）、软件服务层（Software as a Service，SaaS），即 3 层 SPI（SaaS、PaaS、IaaS 的首字母缩写）架构，如图 1.3.1 所示。