

数据中心 热点技术剖析

郭亮 等著

展现全球和中国
数据中心的发展现状

解析新时代
对数据中心的新要求

一本探讨数据中心基础设施、服务器和网络方面热点技术的权威作品
关于ODCC的多项研究成果，从制冷、供电、服务器、存储到网络等，你想知道的尽在本书

ODCC 主席、百度系统部总监 张炳华
ODCC 副主席、中国信息通信研究院云大所数据中心研究部主任 李浩
华为 2012 实验室网络技术部副部长 韩磊

作序



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

近几年，全球信息化速度明显加快，各种新技术、新应用层出不穷，承载应用的数据中心进入爆发式发展期。ODCC作为数据中心行业组织，集结了国内的数据中心一线专家，致力于数据中心新技术的研究和推广。在近5年的工作中，涌现了一大批优秀成果。授人以鱼不如授人以渔，希望读者通过此书得到启发。

——中国信息通信研究院云大所所长 何宝宏

作为ODCC的创始会员，腾讯始终走在技术贡献的前端，对微模块、绿色数据中心分级评估、监控和运维等项目都贡献了很多力量。近几年，我国的数据中心产业蓬勃发展，新技术的应用部署速度位居世界前列，未来希望能在ODCC的平台上分享更多腾讯的探索，与业界同仁一道推动技术的创新与进步。

——深圳市腾讯计算机系统有限公司IDC技术发展中心总监 朱华

本书对ODCC过去的相关重要项目进行了小结，读者能从中大有收获。

——阿里巴巴集团系统研发部总监 高山渊

本书凝聚了数据中心各领域专业技术人员的心血，系统介绍了基础设施、服务器、网络等关键专业的热点技术，旨在通过思维火花的碰撞，激起更多的思考和感悟。行业瞬息万变，技术层出不穷，技术工作者难以开放创新的精神、合作共赢的态度，才能去粗取精、去伪存真、构建生态、创造未来。

——中移信息技术有限公司中心基础平台部副总经理 滕滨

《数据中心热点技术剖析》正是这些年ODCC成果精华的集大成者，在博采众长的同时，勾勒出数据中心技术的完备体系。本书既有前瞻性思考，又有探索实践，对于核心技术细节的解读更是剥茧抽丝、深入浅出。各位专家的真知灼见，令人手不释卷。

——中国电信股份有限公司战略与创新研究院副院长 杨明川

本书汇集了ODCC多项研究成果，从制冷、供电、服务器、存储、网络等多个方面对数据中心当前的热点技术进行了详细剖析，并对未来的数据中心形态进行展望。无论是互联网或通信公司的管理者，还是数据中心相关技术的开发维护人员，相信阅读此书都能开卷有益。

——三星集团半导体存储产品部门技术总监 赵范植

本书从一线专家的视角剖析了数据中心建设各方面的新技术，一定会给大家带来不一样的体验。

——新华三技术有限公司首席技术官 尤学军

Mellanox公司作为世界领先的网络技术的提供者，很高兴能参与ODCC编著中国开放数据中心规范的工作，将Mellanox和全球开放数据中心客户合作的经验分享到中国。衷心祝愿ODCC的优秀成果能尽快推向市场，服务于中国的数据中心用户。

——Mellanox Technologies亚太区市场开发高级总监 宋庆春

本书详细介绍了广泛应用于企业级服务器的POWER架构处理器的技术特点及其在云计算和人工智能时代新的探索和发展，尤其是POWER架构在推动后摩尔定律时代服务器系统设计和数据中心设计异构加速上的创新和突破。相信这些内容能够给予读者新的思考和启发，通过对数据中心技术的全面了解，更好地推动相关领域的工作。

——IBM公司（国际商业机器公司）IBM存储和认知系统开发总监 鞠海

很荣幸，是德科技受邀撰写400G光电互联技术部分，虽然篇幅有限，我们不能全面展开，但无论是对于仿真设计还是验证测试，都是一个很好的开头。

——是德科技（中国）有限公司互联网基础设施业务部市场经理（大中华区） 杜吉伟



分类建议：计算机/数据中心

人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn

ISBN 978-7-115-51948-1



9 787115 519481 >

ISBN 978-7-115-51948-1

定价：108.00元

数据中心 热点技术剖析

郭亮 等著



人民邮电出版社

此为试读, 需要完整PDF请[北京 www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

图书在版编目(CIP)数据

数据中心热点技术剖析 / 郭亮等著. — 北京: 人民邮电出版社, 2019.10
ISBN 978-7-115-51948-1

I. ①数… II. ①郭… III. ①数据管理 IV.
①F279.23

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第188272号

内 容 提 要

本书讨论了全球数据中心的现状,重点探讨了数据中心基础设施、服务器和网络方面的热点技术,解析了新时代对数据中心的新要求。在读完本书之后,读者可以对数据中心行业的热点技术有比较全面的认识与了解。本书适合数据中心的从业者以及在校的本科高年级学生、研究生阅读。

◆ 著 郭 亮 等

责任编辑 赵 娟

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京瑞禾彩色印刷有限公司印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16

印张: 20.5

2019年10月第1版

字数: 224千字

2019年10月北京第1次印刷

定价: 108.00元

读者服务热线: (010)81055493 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广登字 20170147号

指导委员会

何宝宏 中国信息通信研究院

张炳华 百度在线网络技术（北京）有限公司

高山渊 阿里巴巴（中国）有限公司

朱华 深圳市腾讯计算机系统有限公司

杨明川 中国电信股份有限公司

李洁 中国信息通信研究院

主 编

郭亮 中国信息通信研究院

副 主 编

王峰 中国电信股份有限公司

陈刚 百度在线网络技术（北京）有限公司

编委会（以姓氏拼音为序）

蔡永顺 中国电信股份有限公司

董鹏 华为技术有限公司

豆坤 三星半导体西安研究所

龚海峰 英特尔亚太研发有限公司

顾戎 中移信息技术有限公司

何永占 百度在线网络技术（北京）有限公司

蒋进松 国际商业机器（中国）投资有限公司

李凯 是德科技（中国）有限公司

李孝众 百度在线网络技术（北京）有限公司

刘军 思科中国有限公司

刘水旺 阿里巴巴（中国）有限公司

陆彦珩 国际商业机器（中国）投资有限公司

钱 晨 国际商业机器（中国）
投资有限公司

盛 凯 中国信息通信研究院

万晓兰 新华三技术有限公司

王少鹏 中国信息通信研究院

吴美希 中国信息通信研究院

颜小云 深圳市腾讯计算机系统
有限公司

张 辉 北京迈络思科技有限
公司

朱晓云 中国信息通信研究院

钱声攀 中国电力科学研究院有限公司

孙黎阳 华为技术有限公司

王 锋 阿里巴巴（中国）有限公司

王 月 中国信息通信研究院

谢丽娜 中国信息通信研究院

衣 斌 百度在线网络技术（北京）有
限公司

赵继壮 中国电信股份有限公司

推荐序 1

在数字化浪潮的背景下，以物联网、云计算、大数据、人工智能、5G、边缘计算为代表的新技术，对超大规模数据中心、高性能计算和存储、高速无损网络等技术的研发提出了更高更快的要求。开放数据中心标准推进委员会（Open Data Center Committee, ODCC）以百度、腾讯、阿里巴巴、美团、京东等互联网公司，中国电信、中国移动、中国联通三大运营商，中国信息通信研究院等研究机构为核心会员，集结了全球数据中心领域的领先企业，汇聚了行业多位顶级架构师和技术专家，专注技术创新及应用落地，秉承开放、协作、创新、共赢的宗旨，不断促进产业创新与合作，推动互联网产业持续健康发展。

ODCC 已吸引近百家会员发布上百项研究成果，主导推动了数据中心产业的技术标准、测试规范、白皮书的制定等。无论是“天蝎”整机柜、“冰山”冷存储、图形处理器（Graphics Processing Unit, GPU）服务器、模块化数据中心，还是“凤凰项目”、白盒交换机、无损网络、开放 IT 基础设施项目（Open Telecom IT Infrastructure, OTII）、冰河液冷等项目，都是当下业界领先的技术，并在实际工程中得到了大规模的落地和应用。通过技术标准化，ODCC 实现技术创新快速落地固化，降低成本；通过应用规模化，ODCC 促进产业生态发展，获得规模效益；通过产业生态化，ODCC 推动上游资源与下游需求协同研发，产业链融

合打通。ODCC 已成长为国内数据中心产业平台的翘楚：成为行业的发展风向标，在国际上和 OCP、OPEN19 并列为三大最有影响力的开放平台，成为我国推动数据中心产业进步的最重要的生态圈之一。ODCC 发布的一系列成果不断为产业赋能，提升国家的技术实力、品牌形象和企业竞争力。

本书将 ODCC 的部分优秀成果集结成册，希望借此留下技术专家们对于技术追求的足迹，也希望以此给更多的从业者带来启发，有力支撑政府监管、引导产业发展，帮助用户深入了解行业趋势和技术趋势，推动科研院所对新技术、新业务的研究，促进厂商更好地把握市场需求和技术方向。

我始终相信和期待：开放计算能够聚合行业的力量，准确感知未来技术的发展方向；通过技术预研和标准制定，推动前沿技术快速落地和产业化，建立强大的产业生态，提高企业全球竞争的核心能力，为从中国制造向中国设计转变赋能！

ODCC 主席、百度系统部总监 张炳华

2019 年 6 月 3 日于北京

推荐序 2

很高兴看到 ODCC 的第一本全景式技术图书的出版。ODCC 成立以来，一直秉承“开放、创新、合作、共赢”的理念，综合用户需求、供应商能力、政策环境等多方因素，打造中国数据中心产业的开放平台。

ODCC 发布了上百项成果，已成为数据中心产业发展的风向标。这些均是组长、项目经理和会员专家们，在主席和副主席的指导下共同努力的结果。百度、腾讯、阿里巴巴、中国电信、中国移动、中国信息通信研究院等决策组全力支持 ODCC，协调企业内部专家在 ODCC 牵头立项或贡献技术。各位组长和项目经理亲力亲为，尽心尽力组织各个项目，确保项目的顺利进行和高质量的成果输出。所有会员专家在 ODCC 倾力付出、贡献技术的同时，也确保各项成果受到业界的广泛认可。

“谁无暴风劲雨时，守得云开见月明。”看到 ODCC 今时今日的成果，作为主要发起人之一的我深感欣慰并心怀感恩。感谢郭亮组长的辛苦工作，使 ODCC 近年来的部分优秀成果得以正式出版。这是一个小结，也是一个全新的开始。ODCC 将继续努力，为我国数据中心产业的崛起和创新贡献更多力量！

ODCC 副主席、中国信息通信研究院云大所数据中心研究部主任 李洁

2018 年 7 月 28 日于北京

推荐序 3

人类社会正处于一个转型时期，正在快速迈向智能社会，快速走进云脑时代。数据中心作为智能社会的智慧承载体，是未来社会发展的关键。智能时代的数据中心，其行为模式、流量特征、网络架构与关键技术都将发生深刻的变革。

2014年，中国通信标准化协会开放数据中心标准推进委员会（ODCC）应运而生。发展至今，ODCC会员近百家，发布成果近百项，包括技术规范、测试规范、白皮书等。ODCC已经成为亚太最大的数据中心产业平台，并与全球其他两大数据中心产业平台共同引领全球数据中心产业的发展。每年的峰会，来自全球的专家、学者在这个高规格平台上研讨互动，正逐步成为全球数据中心产业的聚集地之一。

华为公司从ODCC建立伊始，便有幸参与了ODCC的各项工作，见证了ODCC的成长历史，我们深感荣幸。在这个专家荟萃的产业平台上，华为公司与产业界的朋友一起，在数据中心领域贡献自己的力量。在大家的共同努力下，华为做出了数据中心无损网络测试报告、白皮书等贡献，也和ODCC的朋友一起，将ODCC的成果推向国际，在电气和电子工程师协会（Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE）国际标准取得重大突破：发布了无损网络IEEE 802白皮书，无损网络关键技术也在IEEE 802.1Qcz成功立项，使我

国的国产技术能够为全人类的进步做出贡献。

ODCC 成立了下一代数据中心大宽带项目 (DCCNG 项目), 旨在对下一代数据中心互联进行需求调研及技术探讨。我们也有幸参加了本书网络部分的编撰工作, 介绍了 ODCC 在数据中心网络领域的相关工作成果, 希望抛砖引玉, 引起大家的兴趣与思考, 希望有更多的朋友来共同探索未来数据中心的产业和技术。

祝愿 ODCC 的未来更加美好。

华为 2012 实验室网络技术部副部长 韩磊

2019 年 5 月 23 日



推荐语

近几年，全球的信息化速度明显加快，各种新技术、新应用层出不穷，承载应用的数据中心进入爆发式发展期。ODCC 作为数据中心行业组织，集结了国内的数据中心一线专家，致力于数据中心新技术的研究和推广。在近 5 年的工作中，涌现了一大批优秀成果。授人以鱼不如授人以渔，希望读者通过此书得到启发。

——中国信息通信研究院云大所所长 何宝宏

作为 ODCC 的创始会员，腾讯始终走在技术贡献的前端，对微模块、绿色数据中心分级评估、监控和运维等项目都贡献了很多力量。近几年，我国的数据中心产业蓬勃发展，新技术的应用部署速度位居世界前列，未来希望能在 ODCC 的平台上分享更多腾讯的探索，与业界同仁一道推动技术的创新与进步。

——深圳市腾讯计算机系统有限公司IDC技术发展中心总监 朱华

随着云计算等上层应用的快速发展，我国对数据中心等信息基础设施的要求越来越高。从最初的整机柜服务器，到后来的白盒交换机、液冷服务器等，阿里巴巴在数据中心的风火水电、服务器、网络等领域坚持创新，并将相关的创新成果贡献到 ODCC。未来，阿里巴巴将继续推动数据中心领域各项工作的开源，推动行业的共同进步。本书对 ODCC 过去的相关重要项目进行了小结，读者能从中大有收获。

——阿里巴巴集团系统研发部总监 高山渊

随着云计算、大数据、物联网、人工智能等新型 IT 技术的不断融合，数据中心作为信息中转和计算的中枢节点，已经成为新一轮的商业基础设施资源，其重要性与日俱增。本书凝聚了数据中心各领域专业技术人员的心血，系统介绍了基础设施、服务器、网络等关键专业的热点技术，旨在通过思维火花的碰撞，激起更多的思考和感悟。行业瞬息万变，技术层出不穷，技术工作者唯以开放创新的精神、合作共赢的态度，才能去粗取精、去伪存真、构建生态、创造未来。

——中移信息技术有限公司中心基础平台部副总经理 滕滨

数据中心作为信息产业的核心基础，正在迎来新一轮的发展高潮。在新兴业务的驱动下，高性能、低功耗、异构化、智能化都是新一代数据中心关注的重点。作为我国 IT 基础设施产业联盟翘楚的 ODCC，一直以来都在引领着数据中心先进技术的研发与应用。《数据中心热点技术剖析》正是这些年 ODCC 成果精华的集大成者，在博采众长的同时，勾画出数据中心技术的完备体系。本书既有前瞻性思考，又有探索实践，对于核心技术细节的解读更是剥茧抽丝、深入浅出。各位专家的真知灼见，令人手不释卷。

——中国电信股份有限公司战略与创新研究院副院长 杨明川

随着互联网的快速发展以及 5G、IoT、车联网等新技术的兴起，用户每天产生的数据量正在呈指数级增长，作为数据存储和处理的底层支撑，数据中心的重要性不言而喻。而新技术、新应用的出现对数据中心的能效、性能，甚至部署方式都提出了新的需求。ODCC 作为国内数据中心产业联盟的翘楚，多年来一直关注着数据中心领域相关新技术的发展。本书汇集了 ODCC 的多项研究成果，从制冷、供电、服务器、存储、网络等多个方面对数据中心当前的热点技术进行了详细剖析，并对未来的数据中心形态进行展望。无论是互联网或通信公司的管理者，还是数据中心相关技术的开发维护人员，相信阅读此书都能开卷有益。

——三星集团半导体存储产品部门技术总监 赵范植

数据中心是信息化建设的基础，新华三致力于成为数字化解决方案领导者，为各行业数据中心建设提供云计算平台、云存储、SDN 网络、云安全等基础构架，并为各行各业的智慧应用提供大数据平台、AI 赋能及丰富的边缘计算场景化方案。我们在深度参与 ODCC 工作的同时，也愿意以开放合作的精神与各领域伙伴共同打造数字化产业链。本书从一线专家的视角剖析了数据中心建设各方面的新技术，一定会给大家带来不一样的体验。

——新华三技术有限公司首席技术官 尤学军

我们生活在数据时代，现代数据中心的架构正在由传统的以 CPU 为核心向以数据为核心转变，如何高效、正确地传输、处理和利用数据成为数据中心管理人员的最大挑战。数据中心的网络单元和存储单元也已经变成计算单元的一部分。换句话说，数据在哪里，计算就在哪里，任何数据传输过程中的错误都是数据中心性能的损失。ODCC 多年的调查和研究成果铸就了今天中国的开放数据中心规范，为广大的数据中心用户提供了清晰可行的构建高性能、自主可控的数据中心的参考，缩短了中国数据中心和世界先进数据中心的差距。Mellanox 公司作为世界领先的网络技术的提供者，很高兴能参与 ODCC 编著中国开放数据中心规范的工作，将 Mellanox 和全球开放数据中心客户合作的经验分享给中国。衷心祝愿 ODCC 的优秀成果能尽快推向市场，服务于中国的数据中心用户。

——Mellanox Technologies 亚太区市场开发高级总监 宋庆春

随着宽带中国、大数据、云计算等技术的快速发展，以及“互联网+”的稳步推进，各行各业对数据的计算、存储、传输等需求快速增长。这些需求在推动数据中心高速发展的同时，也对其部署、运维、性能、功耗等提出了前所未有的挑战。本书结合基础设施、服务器、网络连接等不同方面的热点技术对数据中心的发展历史、技术现状以及趋势前景都进行了详细的讨论。在服务器技术部分，本书详细介绍了广泛应用于企业级服务器的 POWER 架

构处理器的技术特点及其在云计算和人工智能时代新的探索和发展，尤其是 POWER 架构在推动后摩尔定律时代服务器系统设计和数据中心设计异构加速上的创新和突破。相信这些内容能够给予读者新的思考和启发，通过对数据中心技术的全面了解，更好地推动相关领域的工作。

——IBM公司（国际商业机器公司）IBM存储和
认知系统开发总监 鞠海

感谢中国通信标准化协会开放数据中心标准推进委员会（ODCC）集中业内专家对数据中心热点技术进行剖析。虽然工程师大都熟悉自己的专业领域，但很多人对行业的全貌和相近的领域也想有更多的了解。这本书很好地解决了这个问题。很荣幸，是德科技受邀撰写 400G 光电互联技术部分，虽然篇幅有限，我们不能全面展开，但无论是对于仿真设计还是验证测试，都是一个很好的开头。

——是德科技（中国）有限公司互联网基础设施业务部
市场经理（大中华区） 杜吉伟



前言

数据中心行业作为重要的信息基础设施，国家对其一贯的要求是稳定。不可否认的是，这个行业一直在进步，每年都会有一系列的热点技术在研究或落地。

中国通信标准化协会开放数据中心标准推进委员会（ODCC）汇聚了一批互联网和通信行业的数据中心领域精英，每年都在进行新技术的研究和应用尝试。本书将研究我国数据中心的现状，重点探讨数据中心的基础设施、服务器和网络方面的热点技术，解析新时代对数据中心的新要求。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，希望广大读者批评指正。

第一部分 概述

第一章 数据中心支撑数字经济快速发展..... 2

- 1.1 数据中心成为数字经济的“顶梁柱” 2
- 1.2 我国数据中心产业发展基础 3
- 1.3 产业创新支撑数字经济快速发展 6

第二章 数据中心的高效集成优化..... 10

- 2.1 需求分析 12
- 2.2 架构分析 14
- 2.3 集成优化 15
- 2.4 总结 19

第二部分 基础设施

第三章 数据中心制冷系统..... 22

- 3.1 大型数据中心冷却系统 22
- 3.2 云数据中心对制冷系统的要求 24
- 3.3 云数据中心制冷系统 26
- 3.4 云数据中心智能供冷技术 40
- 3.5 总结 42

第四章 高压电直流电源..... 44

- 4.1 产生背景和发展历程 44
- 4.2 高压直流电源解决方案 51