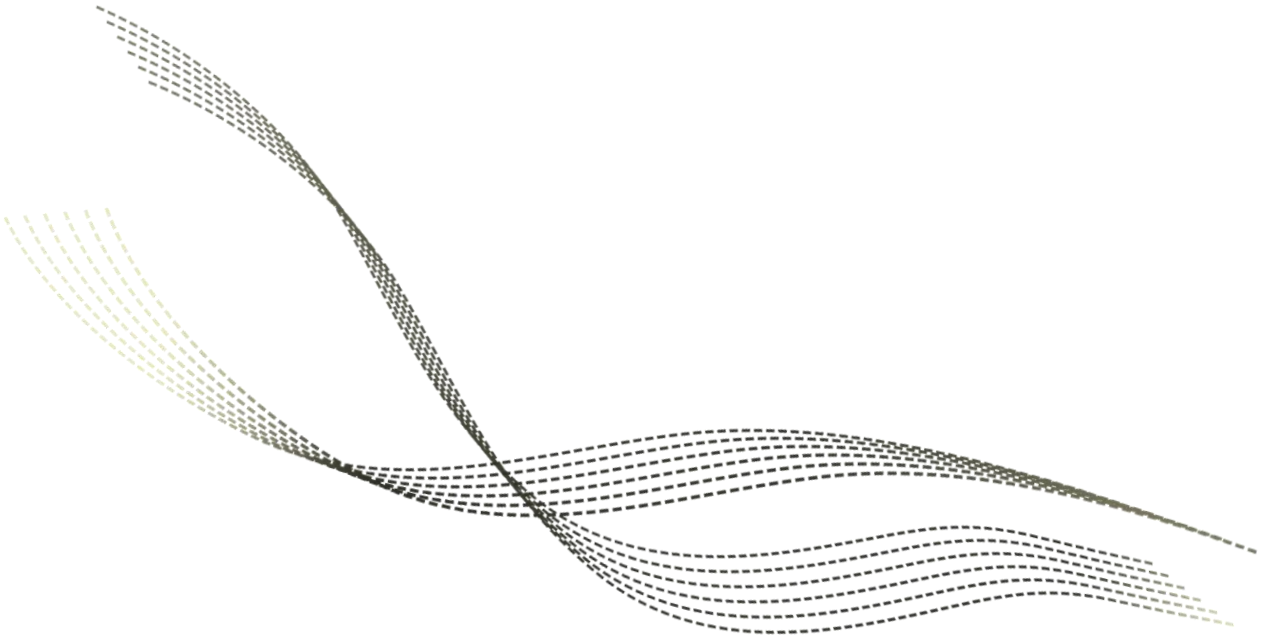
高级计算机体系结构

Advanced Computer Architecture



数据中心即计算机

沈明华

目录

CONTENTS

PART 01 数据中心基础设施

■ 背景

□ 数据中心

- 数据中心的核心功能
  - ➢ 提供数据处理(计算)服务
    - 并发处理非常多的请求(以请求级并行的方式request-level parallelism)
  - ➢ 提供数据存储服务
    - 大规模，高可靠的数据存储
  - ➢ 提供数据传输服务
    - 高带宽
- 数据中心的组成设备
  - ➢ ICT设备、电力系统、冷却系统
  - ➢ 其他支持类设备，如灯光、安全等

Information and Communications Technology： 服务器、交换机、存储阵列等

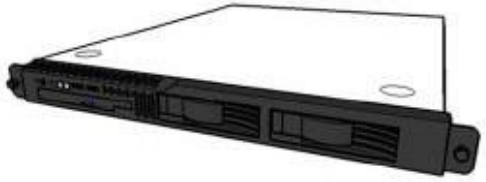
■ 数据中心层次结构

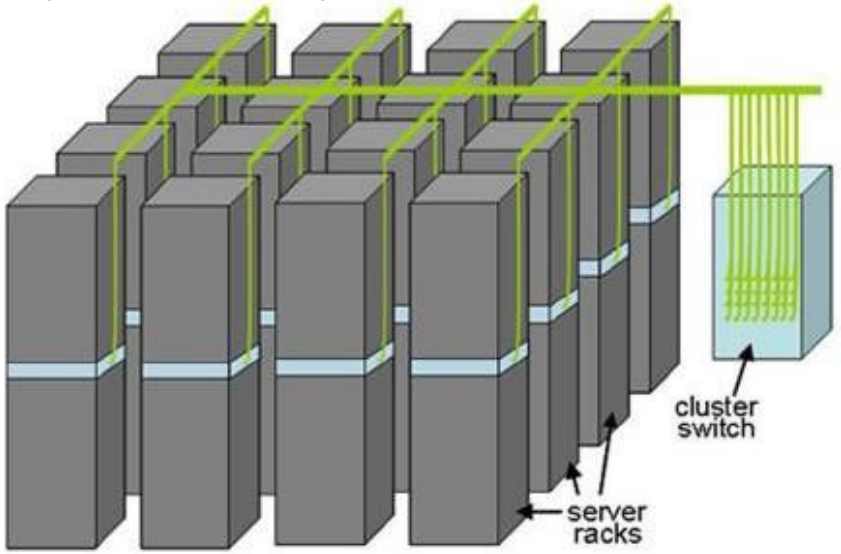
□ WSC(warehouse scale computer)划分层次　仓库级计算机

– Server/Node层次；Rack/Cluster层次；Facility(数据中心层次)

服务器/节点　　机架/集群　　设施/数据中心层次

多个机架通过"集群交换机 (Cluster Switch)"连接在一起





- Basic unit: 1U
  - 1U = 4.445 cm
- Full size rack
  - 42U

■ 数据中心节能

□ 能效比(PUE, power usage effectiveness)

- 提供一个关于数据中心能效的总览，即有多少能源真正用于计算
- 越接近1能效越好

$$\mathrm{PUE} = \frac{\text{数据中心总能耗}}{\text{IT设备功率}}$$

=2意味着每一度电用于计算，都要额外的一度电用于散热、供电

□ 绿色数据中心的评价指标

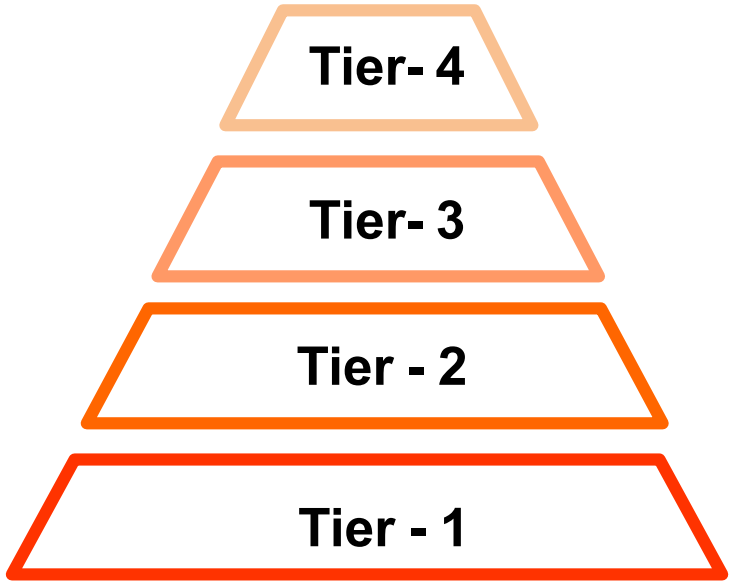
- WUE：water usage effectiveness(单位L/kWh)
- CUE：carbon usage effectiveness(单位$kgCO_2/kWh$)

$$\mathrm{WUE} = \frac{\text{数据中心平均用水量}}{\text{IT设备功率}}$$

$$\mathrm{CUE} = \frac{\text{数据中心总碳排放}}{\text{IT设备功率}}$$

■ 数据中心等级认证体系

◘ Uptime的Tier体系评价数据中心的等级



Tier等级

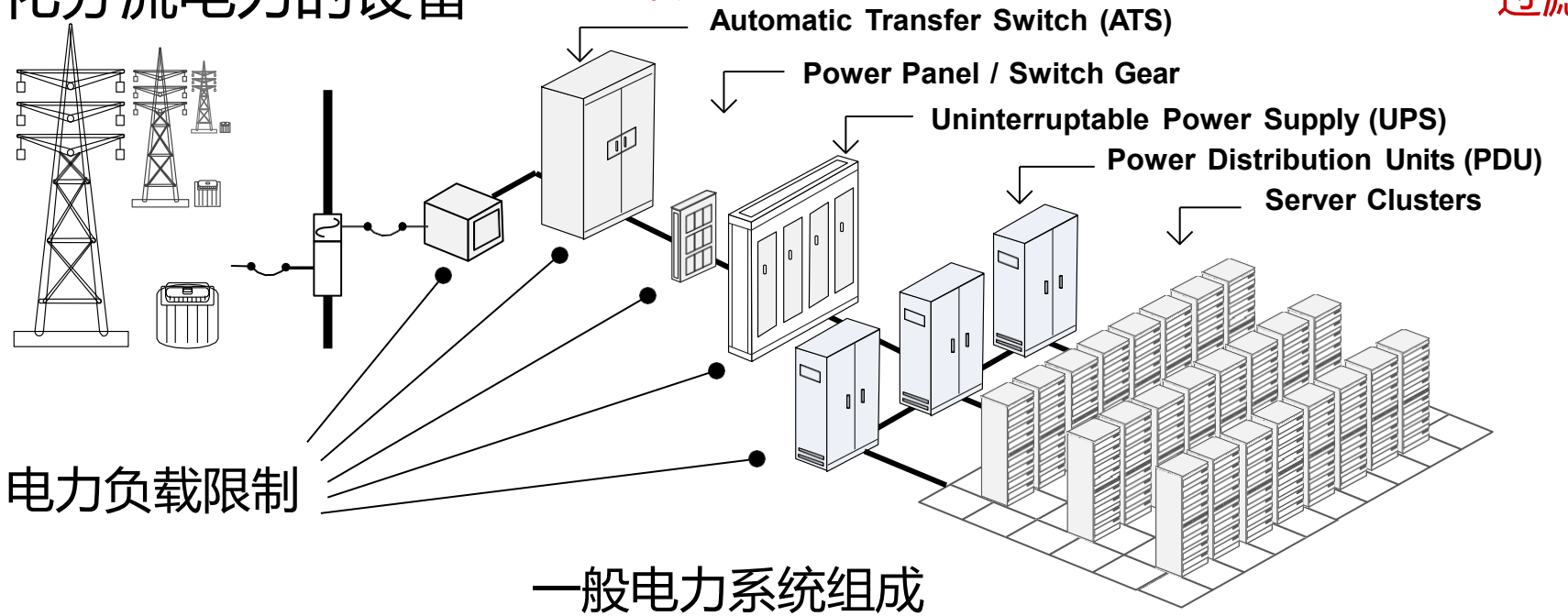
- **Tier- 4**：99.995% 可用，每年允许0.4h总宕机时间，96h的独立电源储备, 2N+1冗余备份
- **Tier- 3**：99.982% 可用，每年允许1.6h总宕机时间，72h的独立电源储备, N+1冗余备份
- **Tier - 2**：99.749% 可用，每年允许22h总宕机时间，关键设施有冗余备份
- **Tier - 1**：99.671% 可用，每年允许29h总宕机时间，无备份

Uptime Institute

■ 数据中心基础设施

□ 电力系统组成

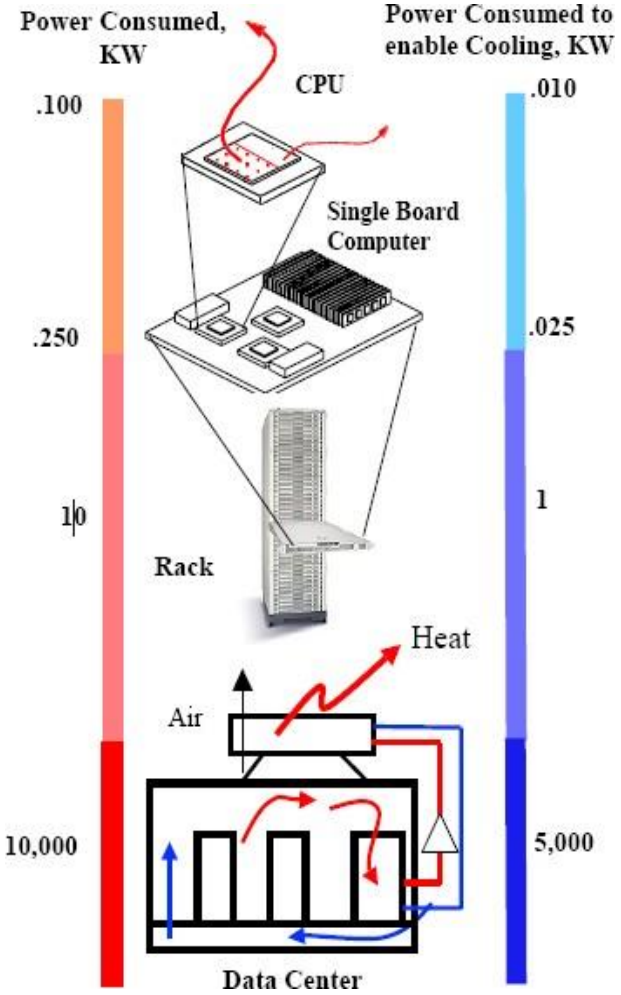
- ATS：一个快速的机械开关，人工控制的电闸 自动转换开关
- STS：一个超快速的电子开关，自动控制的电闸 静态转换开关
- UPS：通常是带控制接口的一组电池，防止电力波动烧坏电子设备 不间断电源，断电时短暂供电、过滤电网浪涌等
- PDU：转化分流电力的设备 配电单元

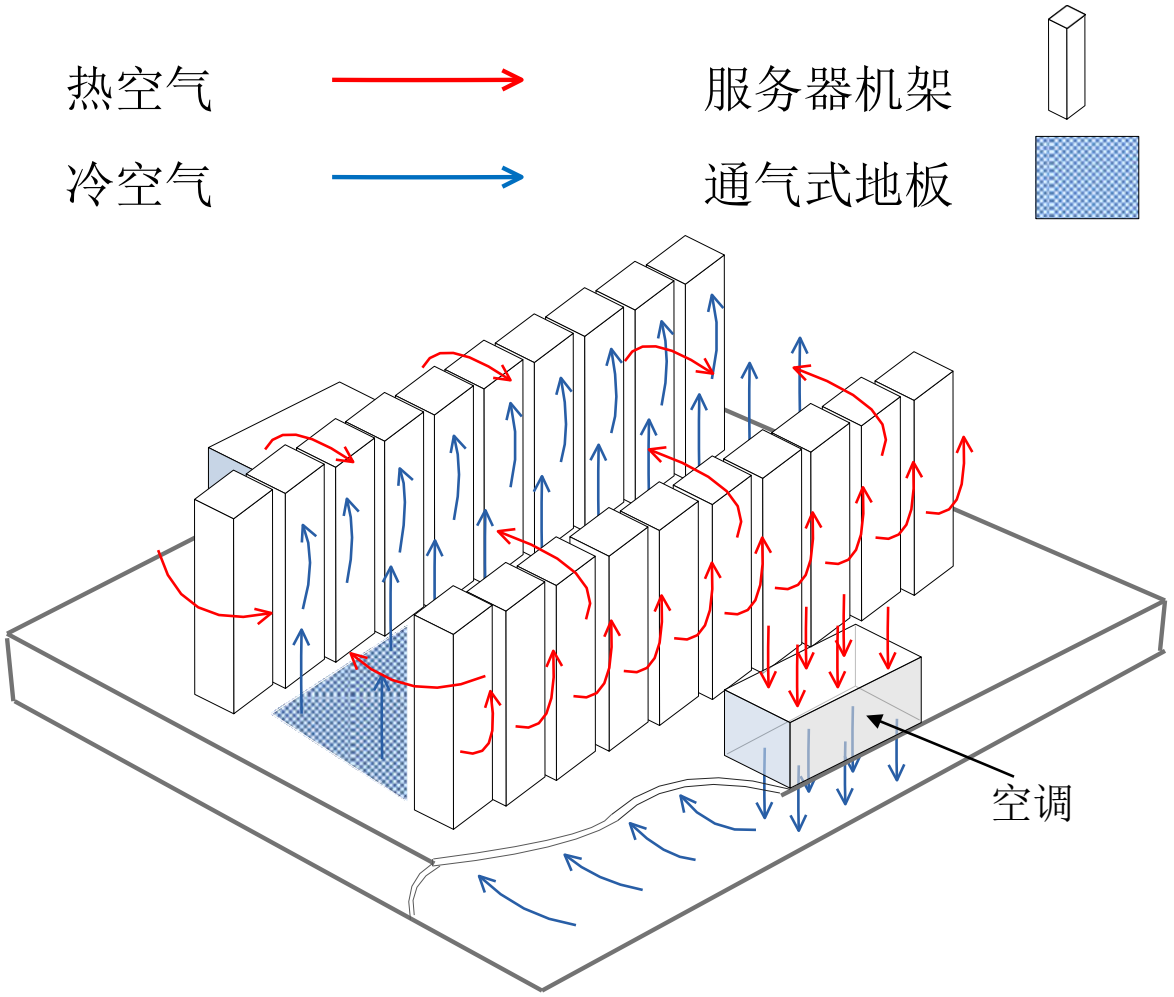


一般电力系统组成

■ 数据中心基础设施

□ 冷却系统





■ 数据中心基础设施

◘ 冷却系统

- 制冷系数(COP系数, coefficient of performance)
  - ➢ 表示制冷设备输入单位能源，能提供的制冷量

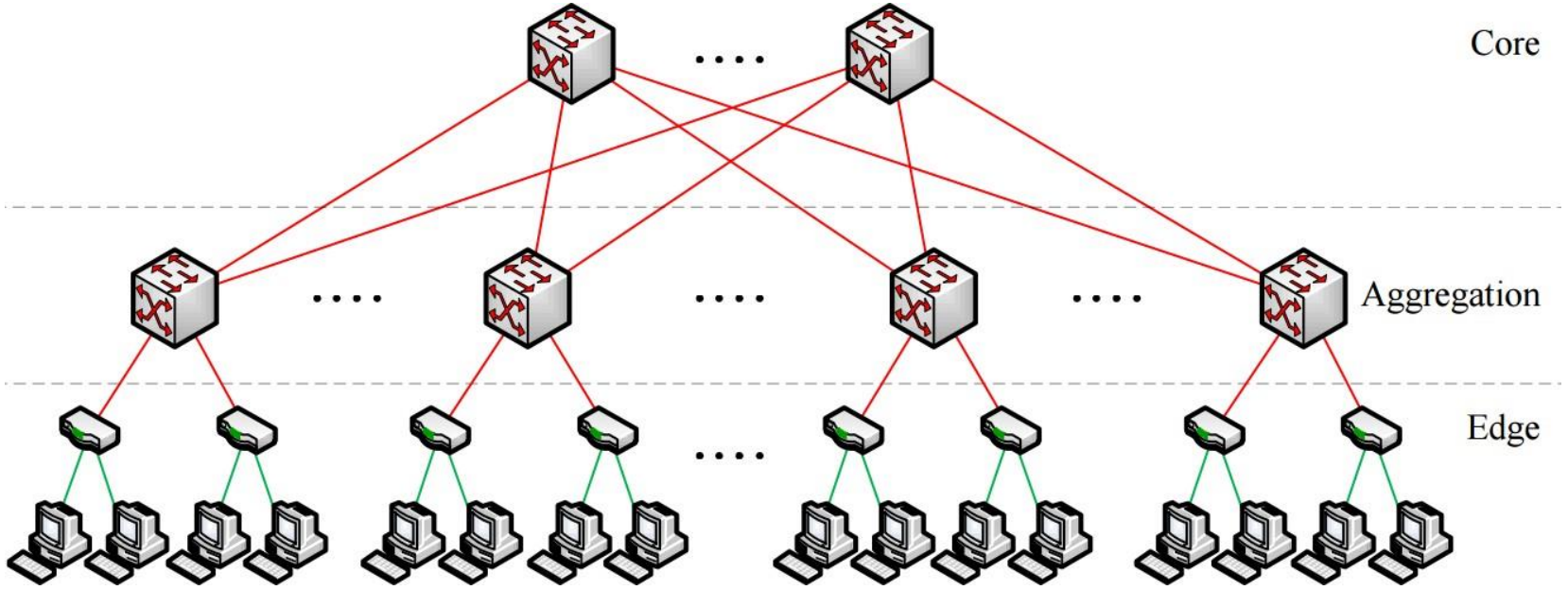
■ 数据中心基础设施

◘ ICT系统

– 两种互联交换机

- ➢ 在机架顶部(TOR, top of rack)
  - 聚合机架上的服务器
- ➢ 在一行机架末尾(EOR, end-of-row)
  - 聚合多个机架的服务器

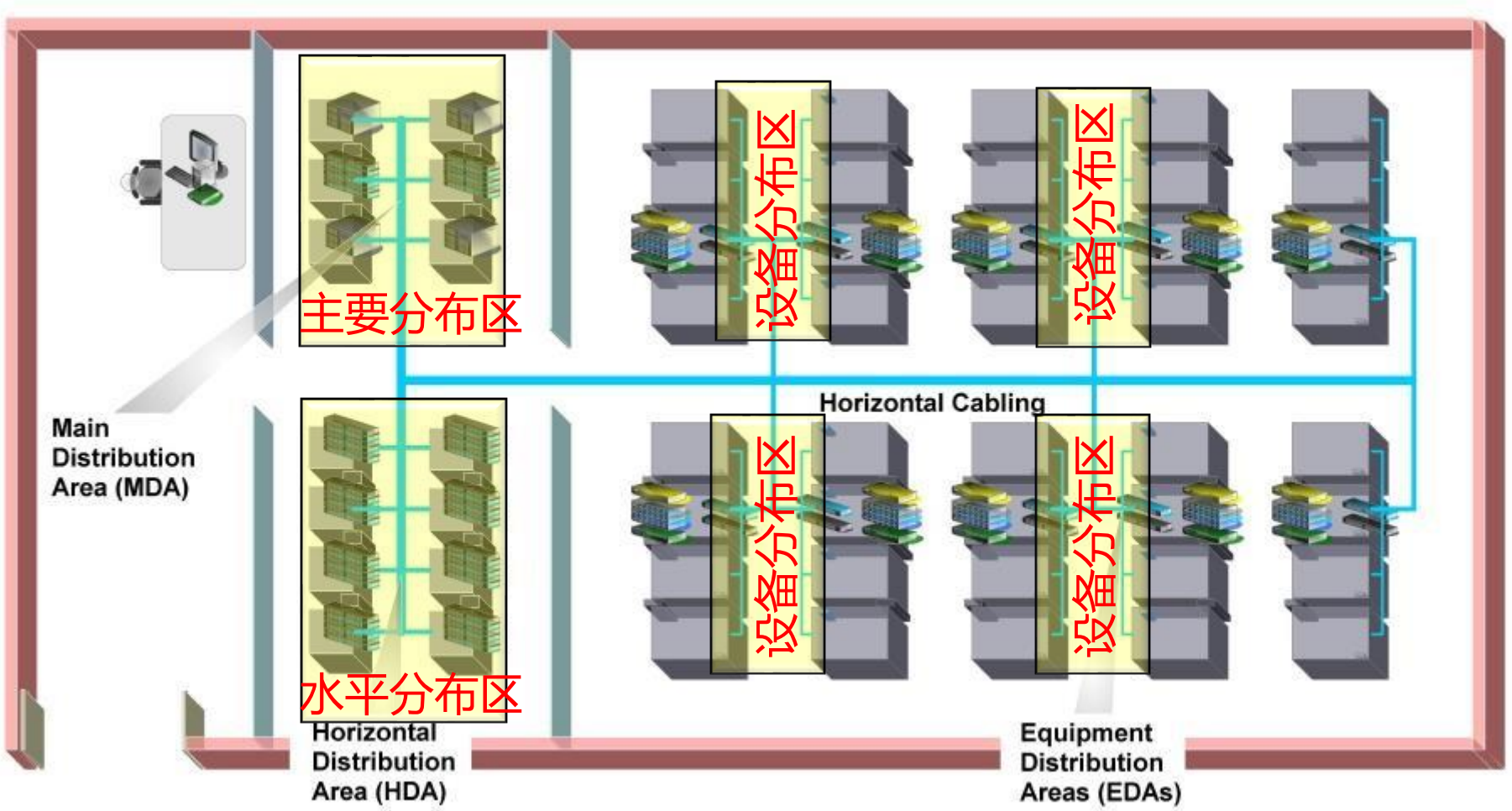
	TOR1G	TOR10G	EOR
GbE Ports	48	0	0
10GbE Ports	4	24	128
Power (W)	200	200	11,500
Size (RU)	1	1	33



■ 数据中心基础设施

◘ ICT系统

– 分层网络拓扑



PART 02 关键设计因素

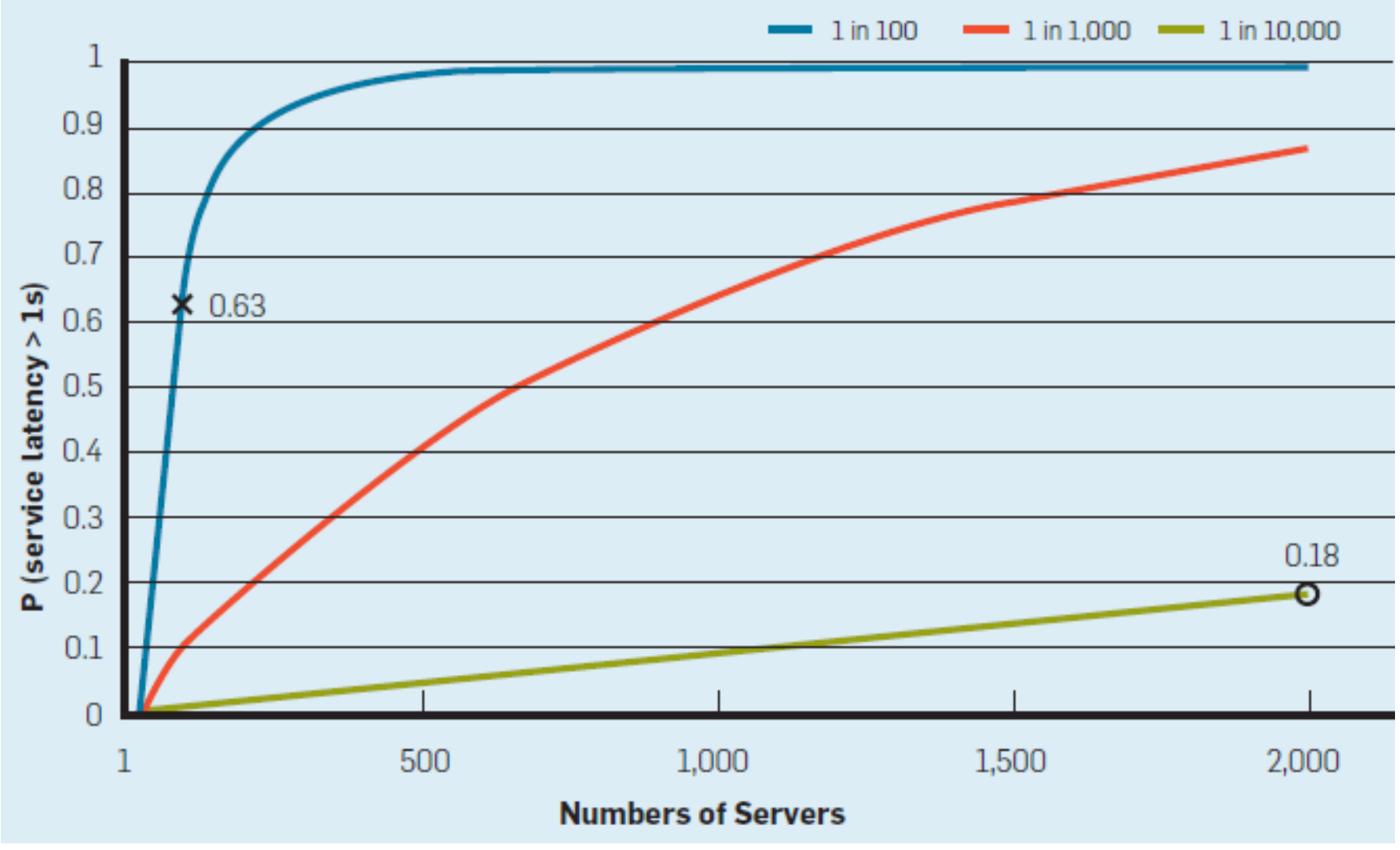
■ 背景

- 设计和运营一台仓库级计算机(WSC)十分具有挑战性
  - 需要考虑性能、能效、独立性/可用性、网络等等因素
  - 本节介绍
    - 降低服务延迟小概率事件的发生
    - 提高数据中心算力利用率
    - 满足数据中心电力供给最优策略
    - 模块化数据中心方案

■ 讨论：The Tail at Scale

- 随着服务器规模的增加，出现秒级响应的概率会增加

若用户调用100台计算机提供服务，每台机器有1%的概率延迟响应，那么响应超过1秒的概率为
$0.63 \approx (1 - 0.99^{100})$



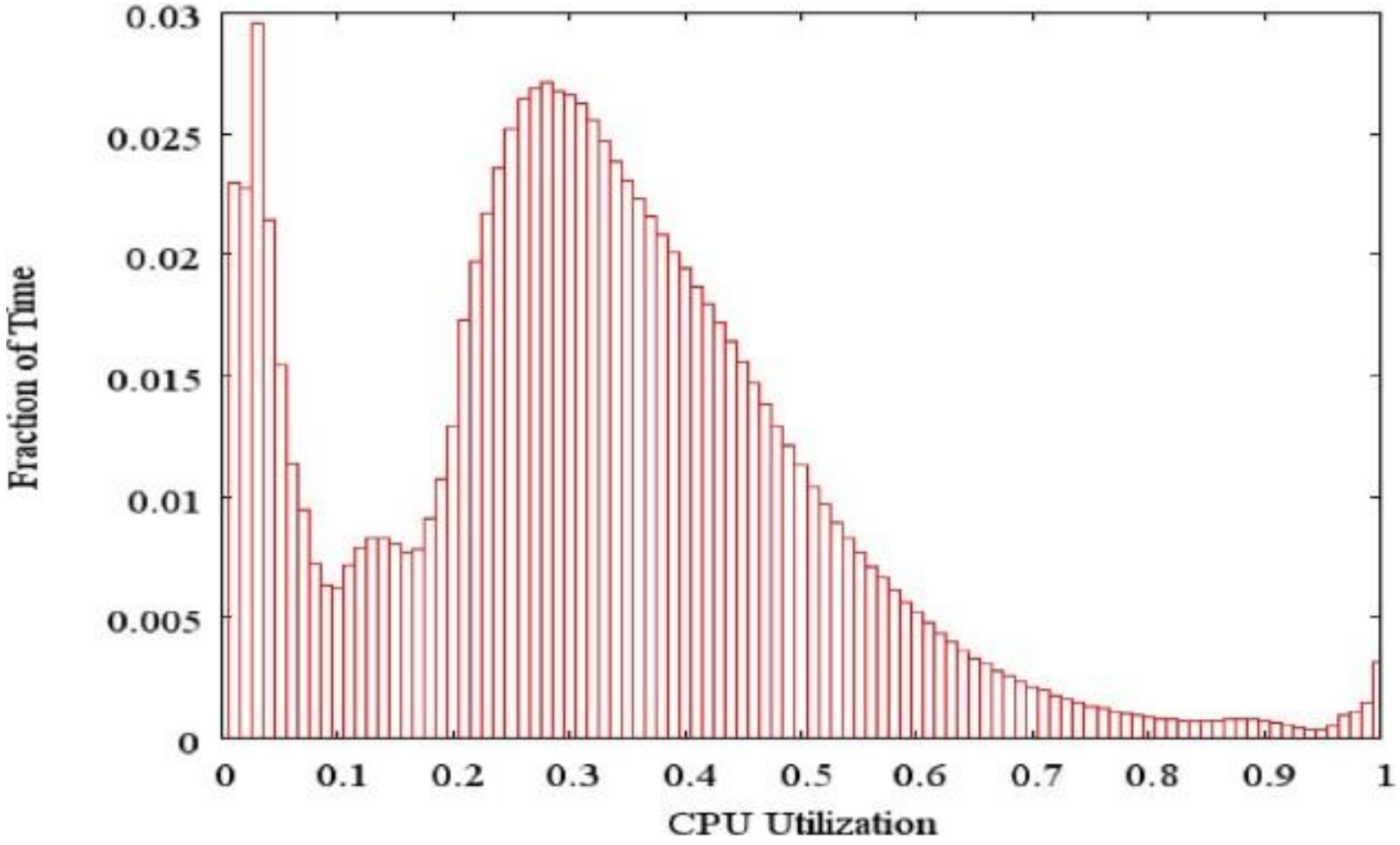
■ 讨论：The Tail at Scale

- 一种简单的策略消除这种随机事件，降低秒级响应出现概率
  - 同时发射多个相同的请求，仅采用最快响应的结果

[1] Jeffrey Dean and Luiz André Barroso, “The tail at scale”, Commun. ACM 56, 74–80, February 2013.

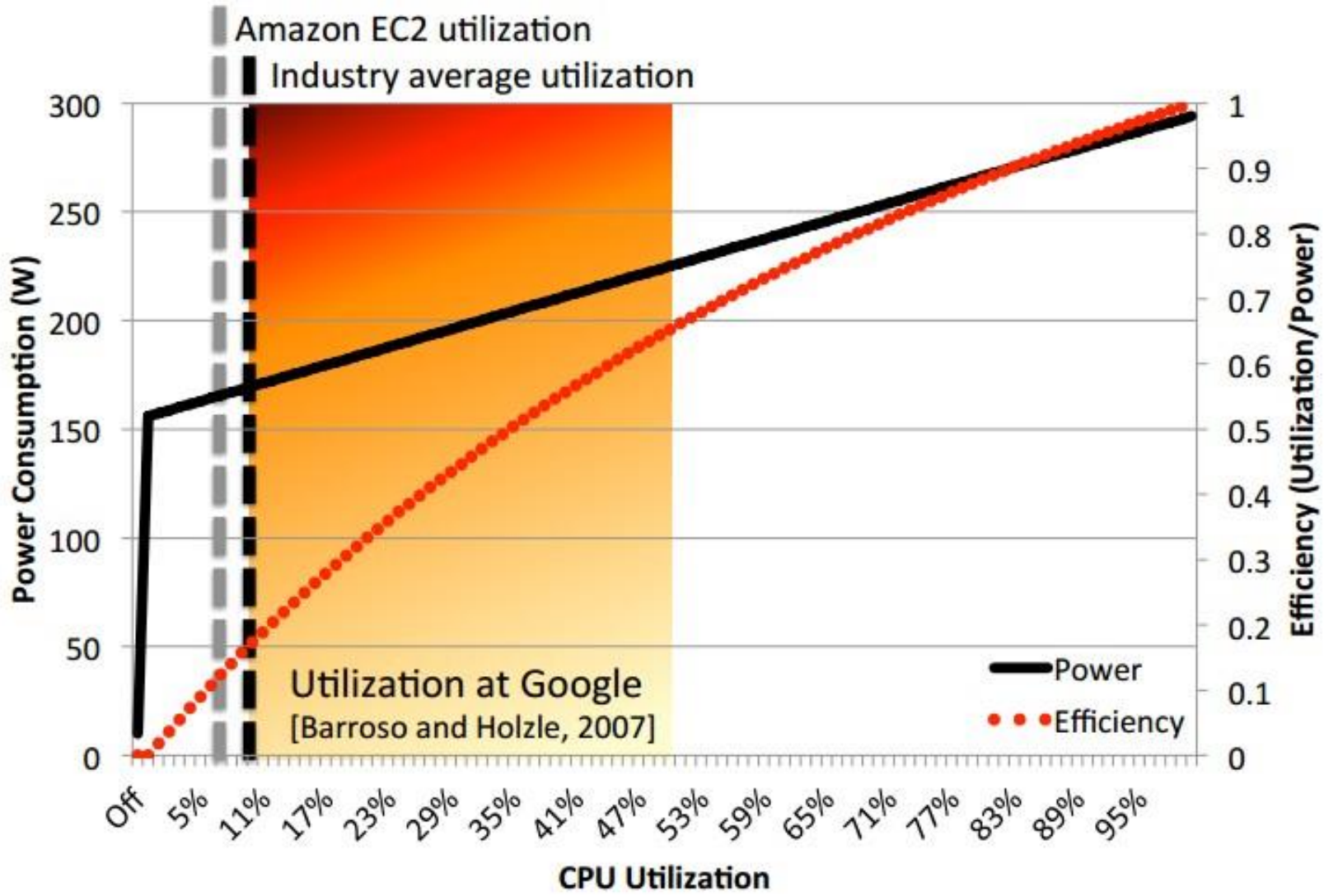
■ 讨论：利用率

- CPU利用率出现频率
  - 数据中心CPU利用率大部分在30%左右



■ 讨论：利用率

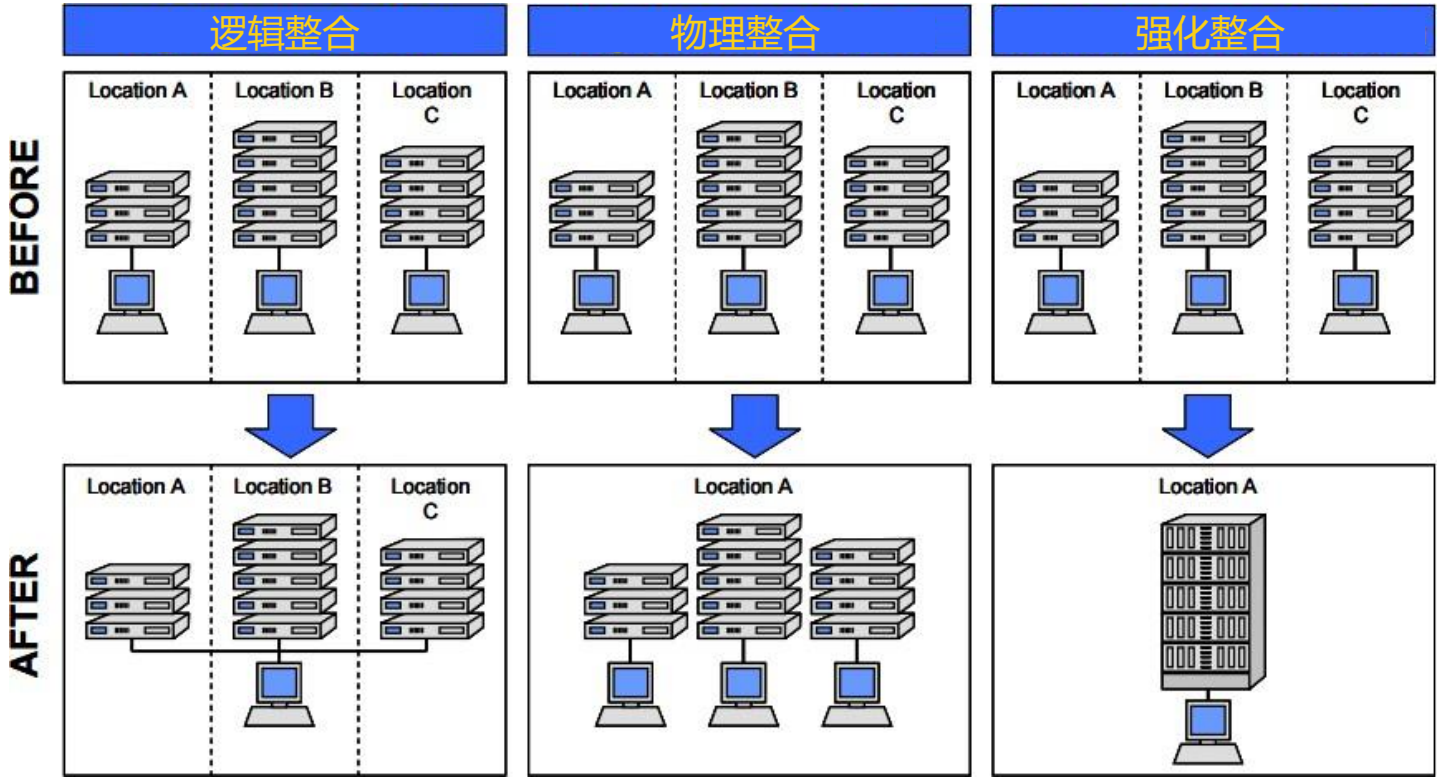
□ CPU利用率和能效的关系



■ 讨论：利用率

□ 整合工作负载提高系统利用率

- 利用虚拟机技术，一台物理机虚拟成多台提供给用户使用
- 最小化在线的物理服务器数量，整合多处服务器资源以提高利用率

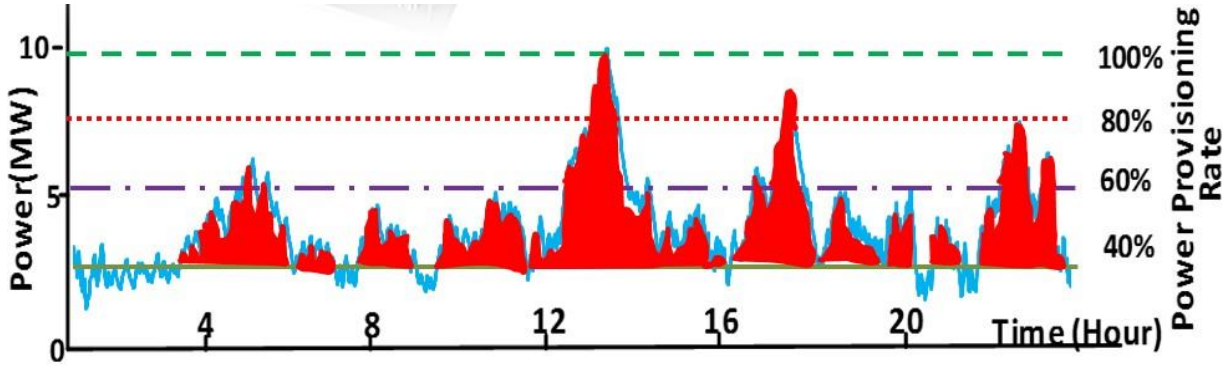


■ 讨论：电力供给问题

- 超额供给(over-provisioning)
  - 服务器额定功率<数据中心设计功率
  - 过于保守的设计导致能源利用率低
- 超额认购(over-subscribing)
  - 服务器额定功率>数据中心设计功率
  - 不能让所有服务器同时进行全功率计算
  - 同电力供应不足

■ 讨论：电力供给问题

- 数据中心电力需求波动较大
  - 而电力供给系统每瓦的成本在10~24$
  - 对数据中心电力需求进行削峰，可以降低电力供给系统成本



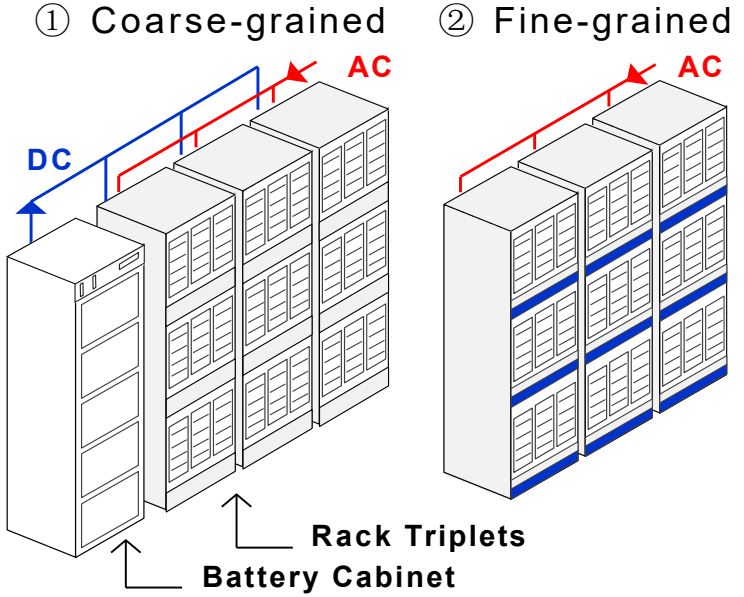
Power mismatches due to the rare peak power demands

■ 讨论：电力供给问题

□ 基于电池组的削峰措施

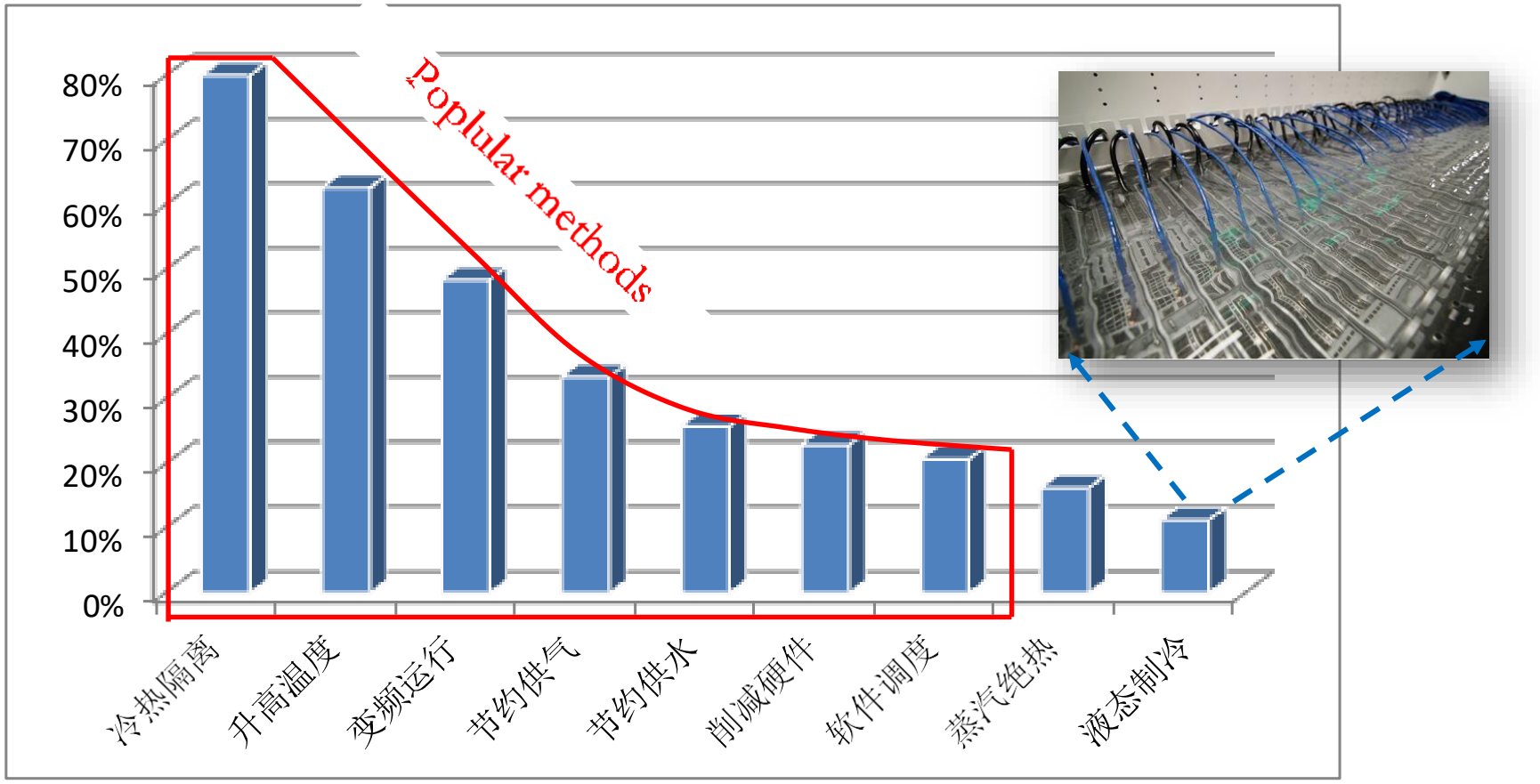
– 灵活按需削减电力峰值

Facebook的分布式电池组



■ 讨论：冷却系统

□ 冷却系统最受欢迎的措施



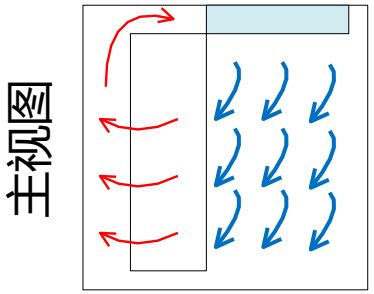
Based on the data from the Uptime Institute, 2014

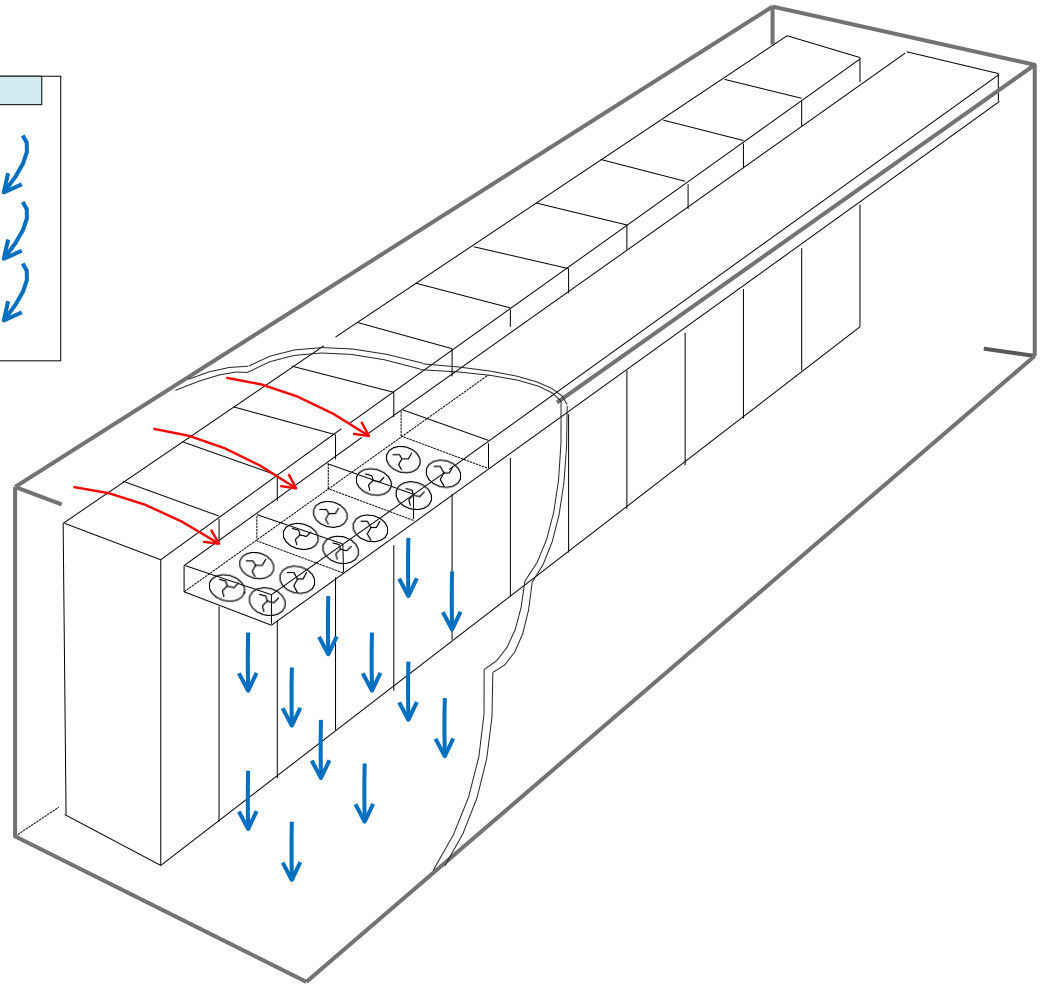
■ 讨论：冷却系统

- 模块化数据中心系统(MDC, modular data center)
  - 是一种便携式扩展数据中心容量的方法
  - 又称为集装箱化数据中心，或便携式数据中心

■ 讨论：冷却系统

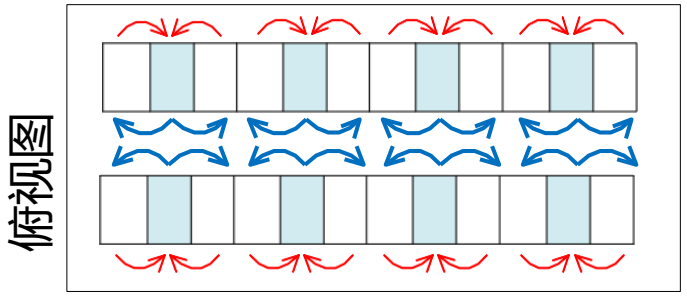
- 例如惠普公司的POD数据中心
  - 单列顶端制冷

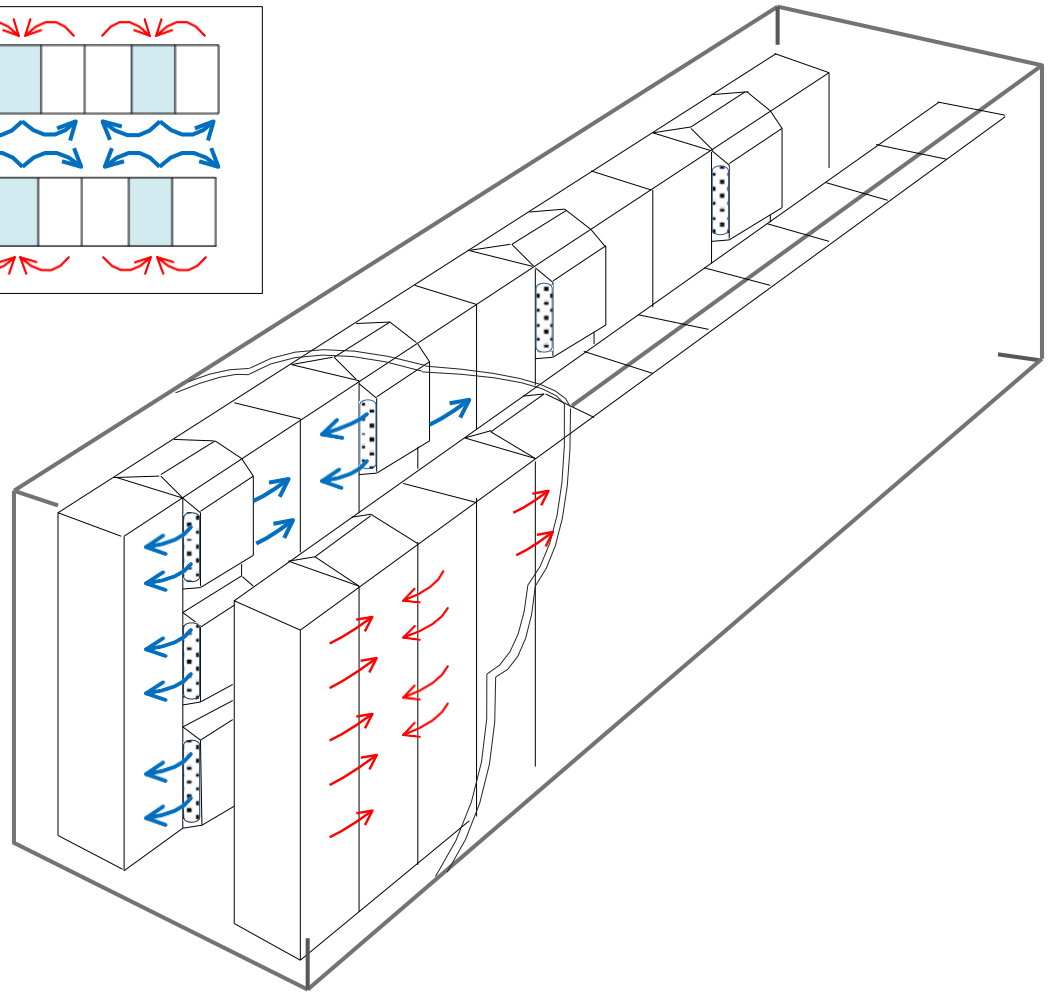




■ 讨论：冷却系统

- 例如Sun的模块化数据中心
  - 双列柜间制冷

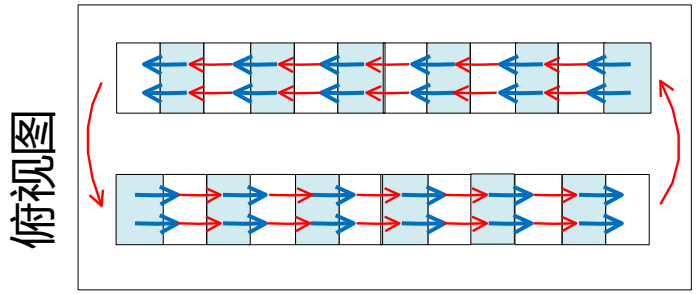


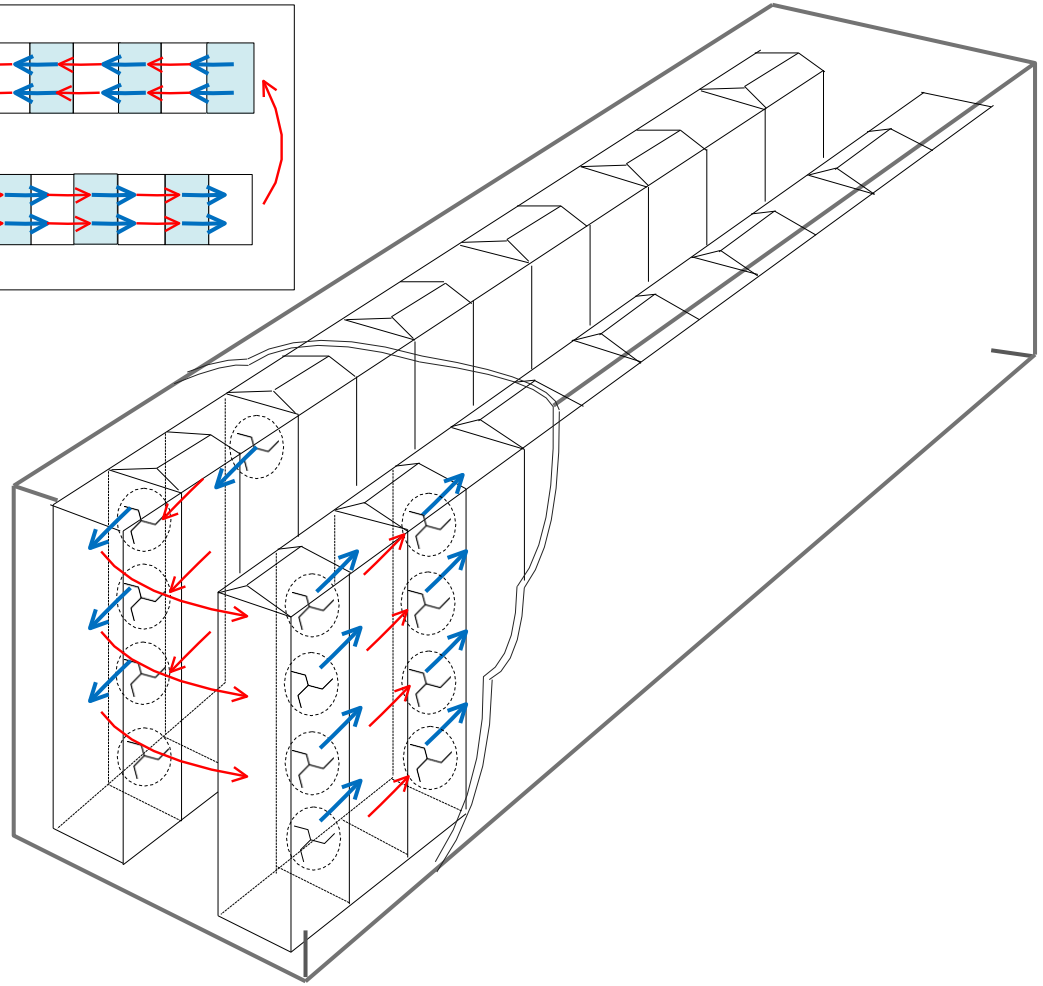


■ 讨论：冷却系统

◘ 例如SGI公司的ICE Cube

- 柜间循环制冷





■ 思考

□ 开放性练习

- Tier-2数据中心合Tier-4级数据中心关键不同点在哪里

- 解释数据中心中超额供给(over-provisioning)、超额认购(over-subscribing)和缺额供给(under-provisioning)的内容

tier2: 只有单一的电力和冷却分配路径。但关键设备上有冗余备份。每年允许22h宕机时间
Tier4：拥有双路甚至多路同时工作的独立电力和冷却分配路径（2N+1 完全冗余）。两套设备同时工作。每年允许宕机时间仅0.4h（26分钟），独立电源储备96小时，用于金融军事等场景

超额供给：分配的资源（电力、存储空间、冷却能力等）大于当前实际需求。服务器功率小于数据中心设计功率
超额认购：售卖或分配出去的资源总和 大于 物理上实际拥有的资源总量。利益最大化，赌所有用户不会在同一时间同时使用
缺额供给：提供的资源 小于 实际运行所需的资源。双11。

感谢！