

# 如何设计配电与空调系统 降低数据中心PUE

曹播

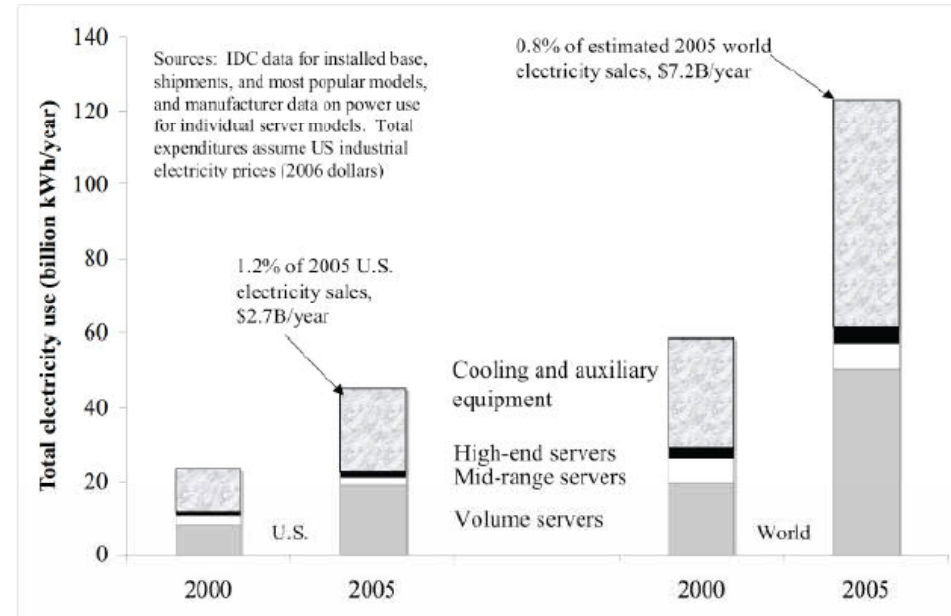
[cafcao@Emersonnetwork.com.cn](mailto:cafcao@Emersonnetwork.com.cn)

13500050240



# 数据中心已经成为电老虎

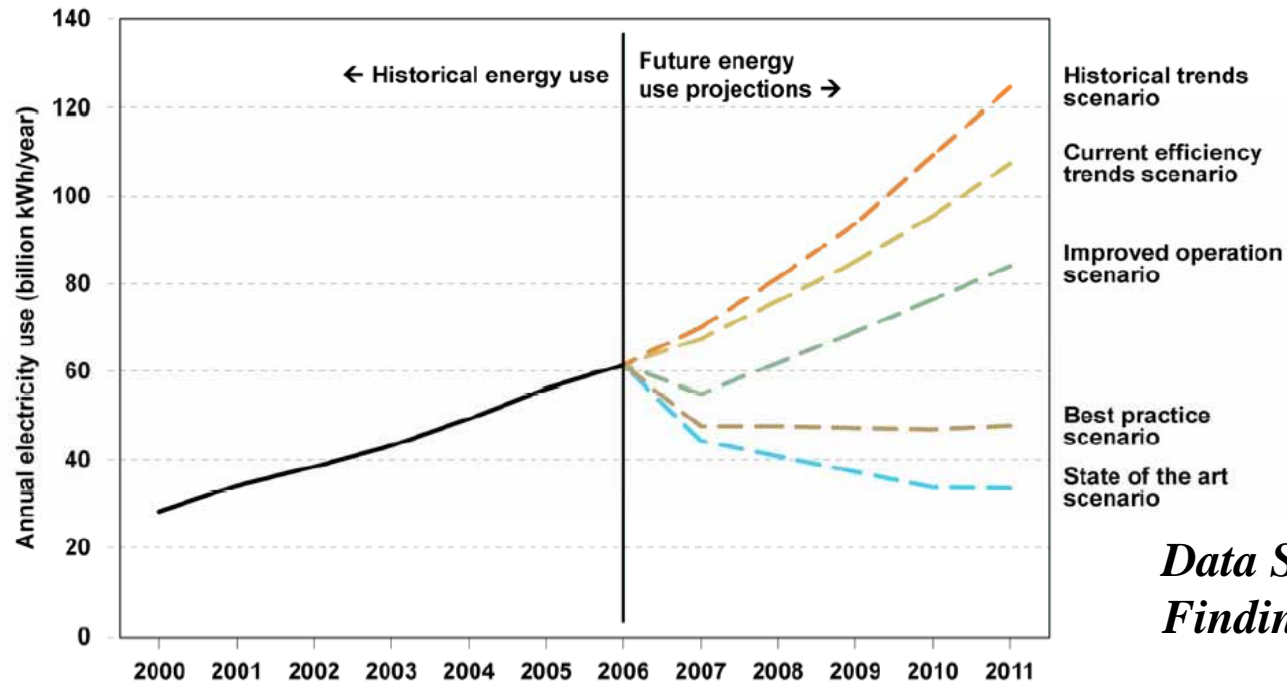
- 根据美国环保署报告，2006年美国的数据中心累计消耗610亿度电（61 billion kWh），占全美当年总耗电量的1.5%，电费约45亿美元，超过美国所有电视机耗电总和，约等于580万个家庭用电量。
- 预计到2011年，美国的数据中心将消耗1000亿度电，占全美总耗电量的2.5%，其电费将达约74亿美元。为满足数据中心耗电需求，美国需要新增10%的发电量才可满足。



**CHINA: 2007年数据中心总能耗达到88.58亿KWH**  
数据来源：计世资讯 CCW Research 2008

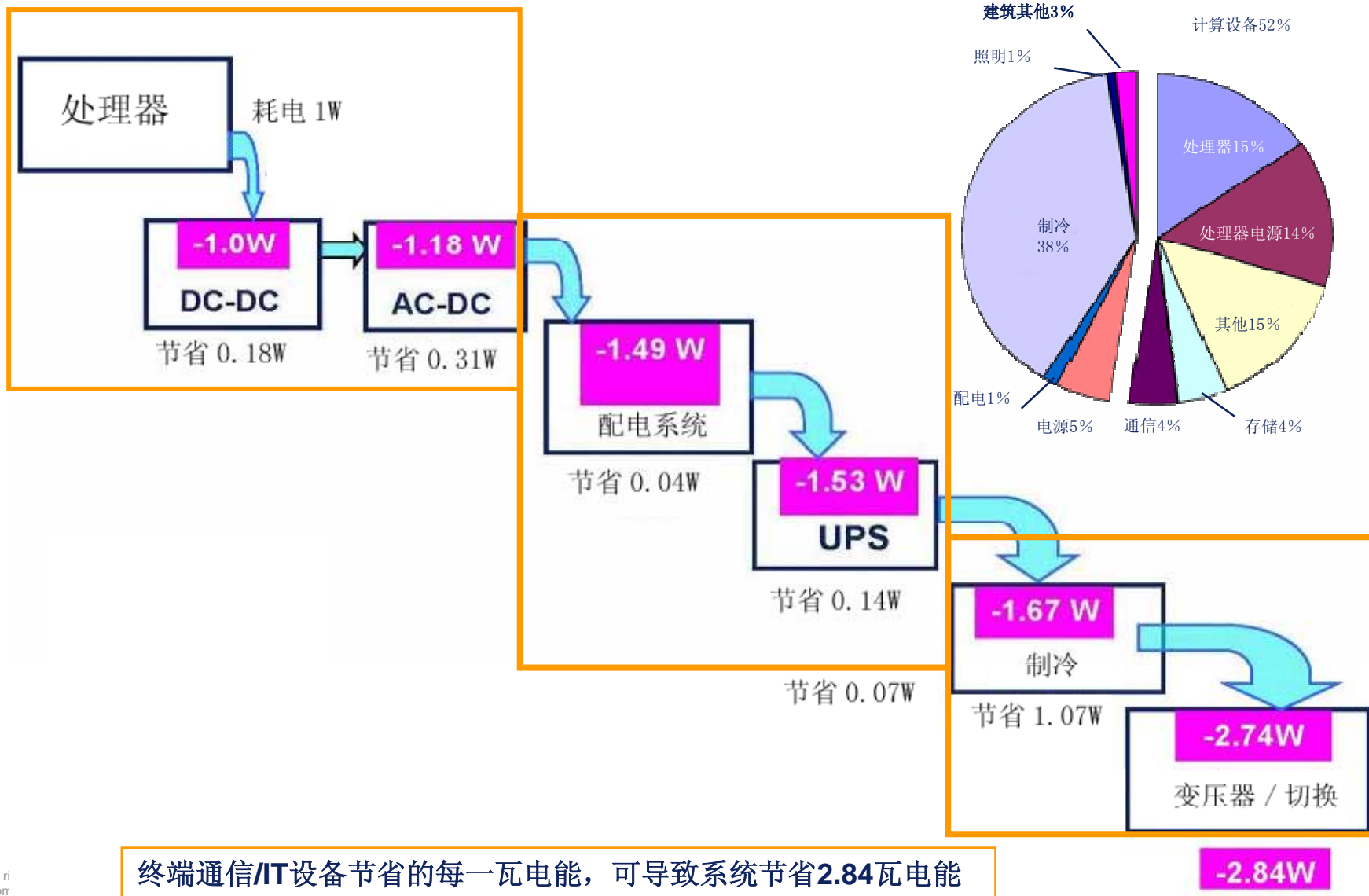
# Data Center Energy Consumption 数据中心能耗路线图

US: Comparison of Projected Electricity Use, All Scenarios, 2007 to 2011



Data Source: EPA Report Findings (August 2007)

# 数据中心能效逻辑定性分析之能效逻辑



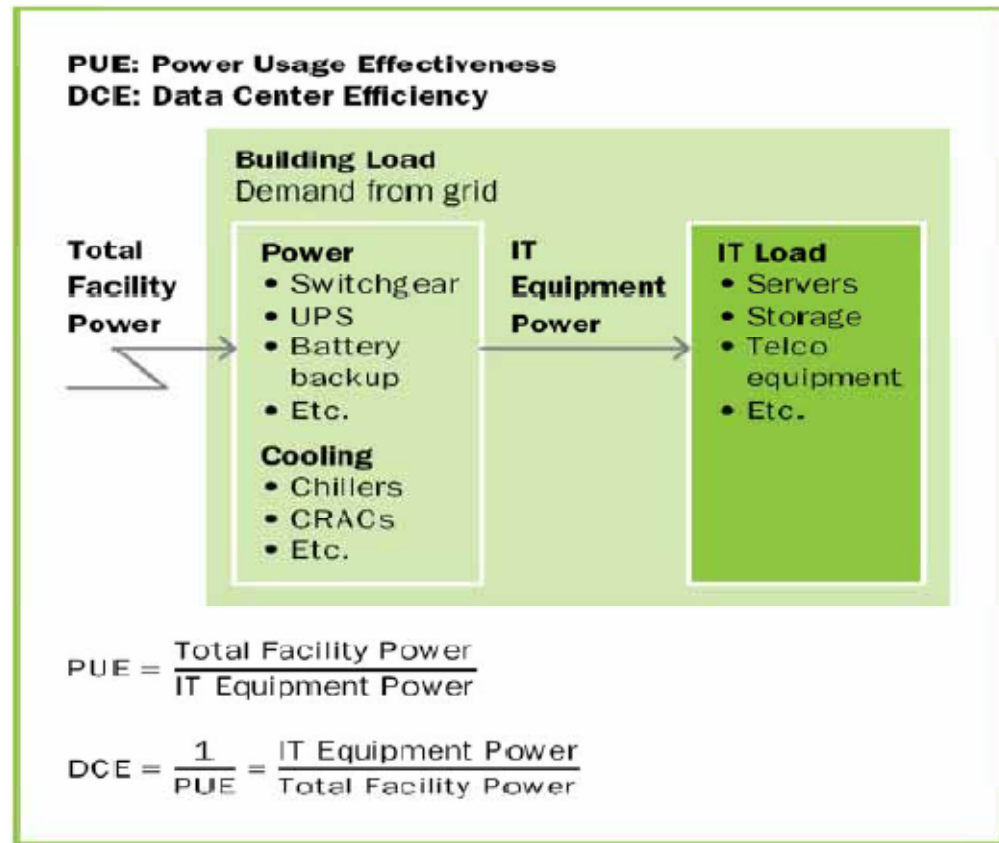
## 数据中心能效定量评价指标

- 为了减少数据中心能量消耗，提高数据中心的能效，全球IT行业的专家们定义了许多数据中心能效模型，其中比较有影响的组织是绿色网格组织（Green Grid）。
- 2007年2月，绿色网格组织（Green Grid）制定了数据中心的能效比指标，分别叫PUE（Power Usage Effectiveness）和DCiE（Data Center Infrastructure Effectiveness），

# 数据中心效率定量评价指标-PUE

- 上述PUE模型推测清楚的列出了数据中心的能量消耗三大部分，即：
  - IT设备的能量消耗
  - 供电系统的能量损耗
  - 制冷系统的能量消耗

接下来对上述三个能量消耗部分进行探讨



# 数据中心能效定量评价指标

– 能量使用效率PUE: Power Usage Effectiveness

– PUE定义

•  $\frac{Total\ Facility\ Power(数据中心总能耗)}{IT\ Equipment\ Power(IT设备总能耗)}$

– 数据中心总能耗=制冷用电负荷+供配电能耗+IT设备能耗 +其他能耗（照明等）

– PUE可分解为

$$PUE = \frac{1}{DCiE} = \underbrace{1}_{\text{制冷能效因子}} + \underbrace{PLF}_{\text{供配电能效因子}} + 1.0$$

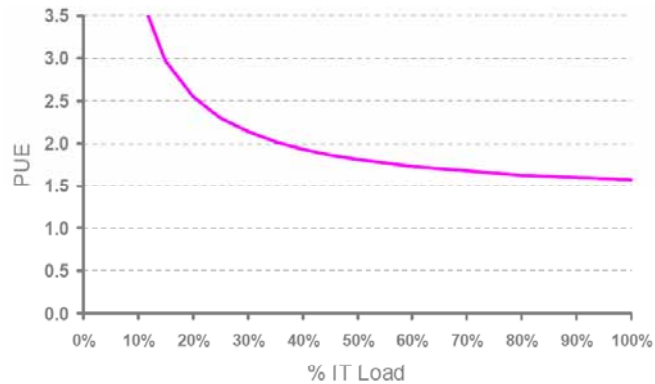
– DCiE指标

$$DCiE = \frac{1}{PUE} = \frac{IT\ Equipment\ Power(IT设备总能耗)}{Total\ Equipment\ Power(数据中心总能耗)} \times 100\%$$

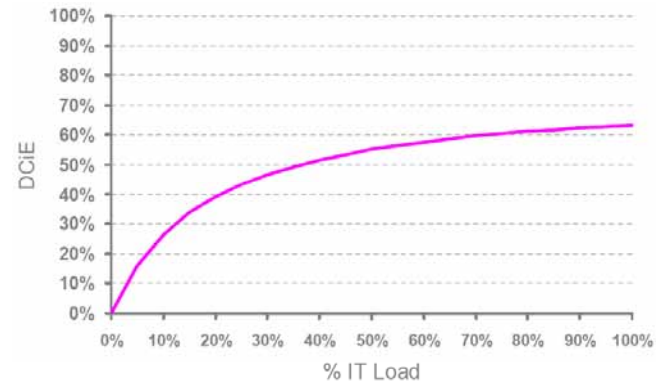
- 数据中心客户广泛关注节能与效率
- 大的客户已经开始在标书中要求采用美国流行的能效评定模型PUE指标设计，如腾讯、招行、平安等新建数据中心

# 数据中心能效定量评价指标

- PUE的曲线



- DCiE的曲线



- 目前运行的数据中心 PUE基本在2 ~ 2.5范围
- 新设计的数据中心，客户倾向指标为1.8~1.6

# 如何打造绿色数据中心

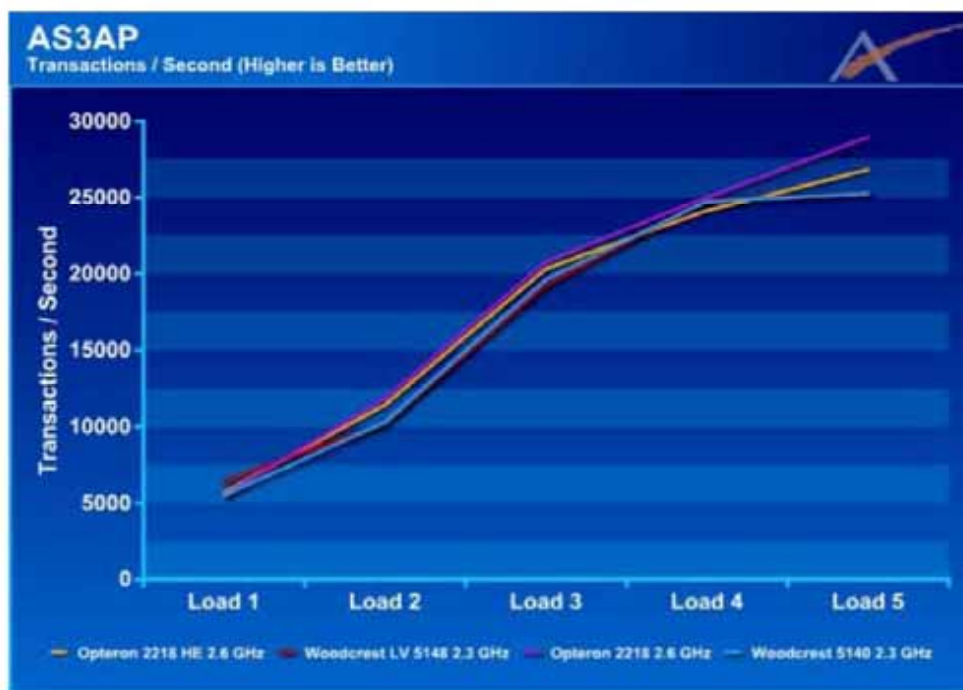
$$PUE = \frac{1}{DCiE} = \underbrace{\text{Cooling Load Factor (CLF)}}_{\text{制冷能效因子}} + \underbrace{\text{Power Load Factor (PLF)}}_{\text{供配电能效因子}} + 1.0$$

## 机房节能三定律：

- IT设备节能是机房节能的基础，采用低能耗主设备是最重要的机房节能措施
- 空调设备节能是机房节能的关键，本模型显示：消除274W机房热需要消耗107W的电。采用空调系统节能综合方案是机房节能的关键
- 供电系统节能是机房节能不可缺的要素。采用高效率的供电系统是机房节能要素

# Low Power Processors 低功率处理器

	Sockets	Speed GHz	Standard	Low Power	Saving
AMD	1	1.8 – 2.6	103 W	65 W	38 W
	2	1.8 – 2.6	95 W	68 W	27 W
Intel	2	1.6 – 2.0	80 W	50 W	30 W

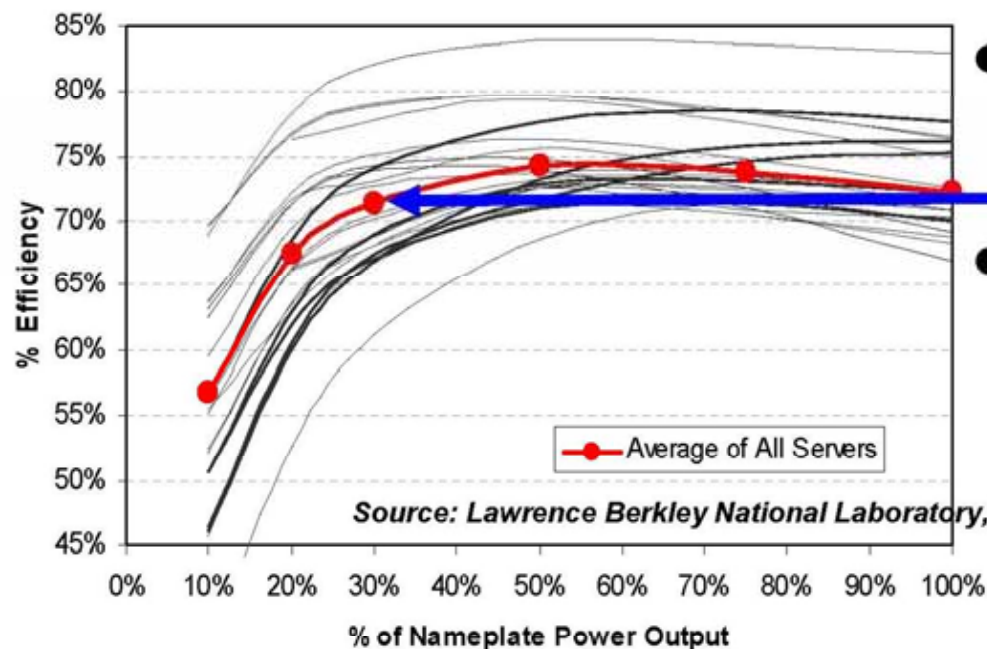


**Chip Makers and Independent Analysts Claim No or Negligible Impact on Compute Performance**

Source Anandtech

芯片制造商和分析家们都称，低功率处理器不会影响计算机的处理能力

# Efficient Power Supplies 高效率电源



- LBNL reported power supply efficiency
  - 72% - 75% at 30% load
- New power supplies have substantially higher efficiencies
  - 89% - 91% @ 30% load

LBNL报告  
要求电源效率在30%负载时为  
72~75%

新型高效电源的效率在30%负载时为89~91%

- Right-size your power supply 选择合适型号的电源
  - Typically server power supplies are oversized for accommodating maximum server configuration 传统的服务器电源一般都大于服务器最大需求
    - Even though most servers are shipped at much lower configurations 即使大部分服务器为低
    - Higher losses associated with oversized power supplies 过大的电源造成更高的能耗损失



**EMERSON**  
Network Power

# Efficient Power Supplies 高效率电源

应该选择什么样的电源呢？

Which Power supply will you choose?

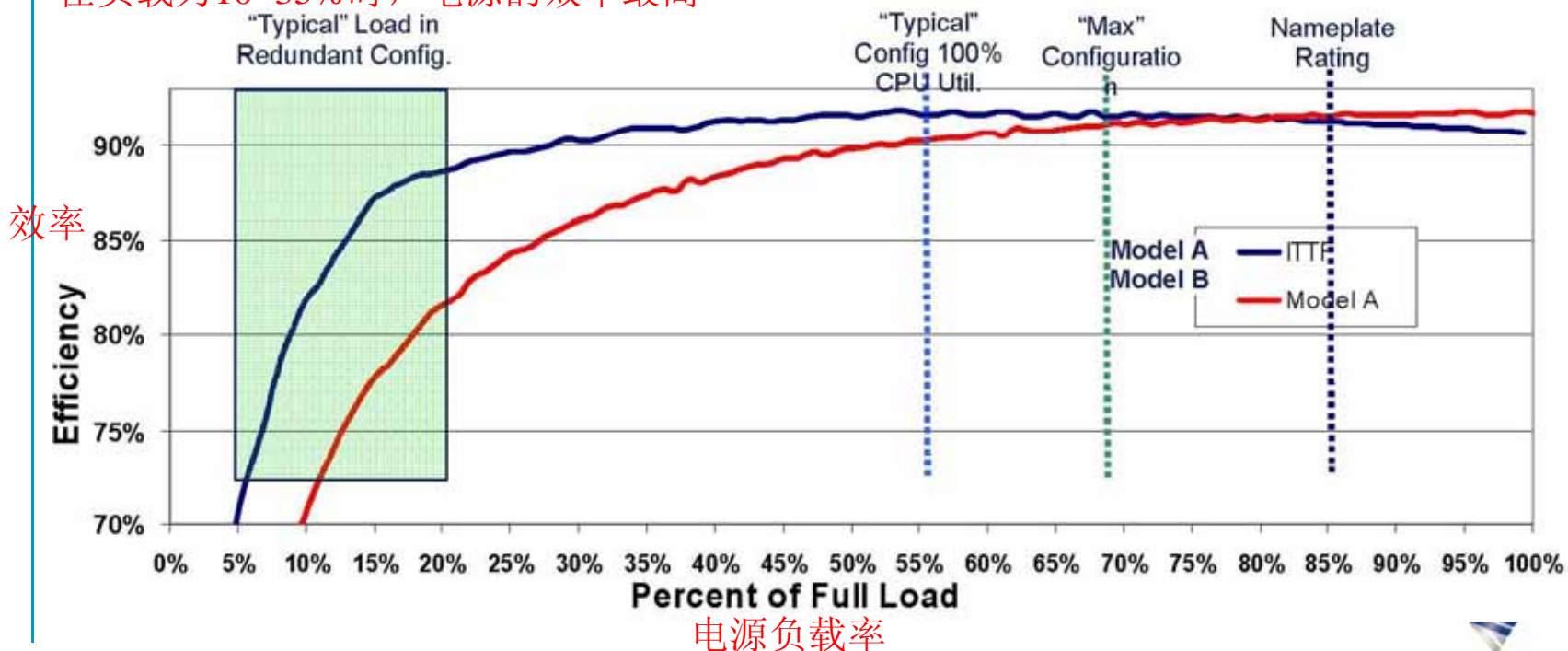
- Power supply A: 91% Efficient at nameplate rating
- Power supply B: 93% Efficient at nameplate rating

Dual Power Supply "Typical" Daily Load	
<7%	8 hrs
7.5% - 15%	10 hrs
15% - 35%	4 hrs
36% - 45%	2 hrs

Power supplies are never at nameplate rating

Spec the power supply which is more efficient at 10% - 35% load

铭牌上的最佳值并不表明电源的运行能力最佳，要根据负载情况确定电源的最佳值。  
在负载为10~35%时，电源的效率最高



© 2007 Emerson Network Power



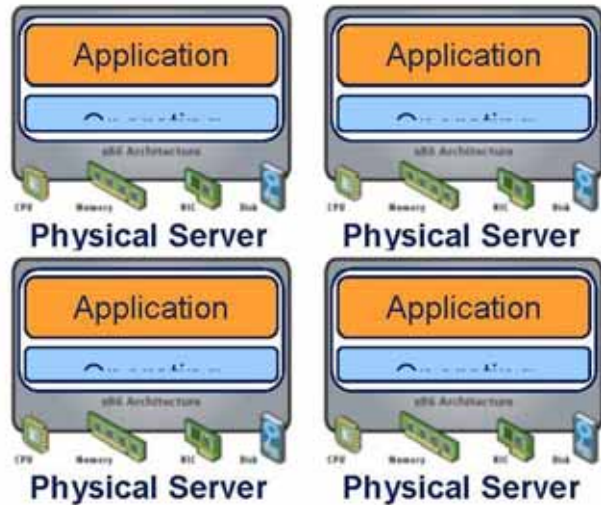
# Server Virtualization

# 虚拟服务器

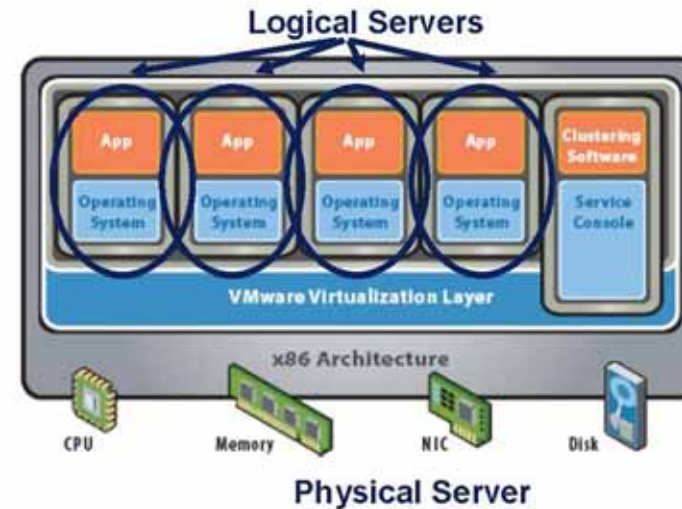
典型的虚拟服务器架构

传统服务器（无虚拟）

## Before Virtualization



## Typical Virtualization Architecture



- Virtualization increases server utilization by decoupling hardware and software 虚拟服务器通过减弱硬件和软件提高服务器的利用率
- Multiple 'Logical Servers' on a single physical server 一台物理服务器上的多逻辑服务器
- Energy savings with **fewer number of servers** 减少服务器数量实现节能
  - Consolidation ratios of 8:1 are typical

典型整合率为8:1，即服务器数量为1/8

# Blade Servers 刀片式服务器

## Comparison of Hardware for Rack based Servers & Blade servers

硬件上的比较

Functional description	14 one-U servers	Blade System (14 blades)
Diskette drive	14	1
CD-ROM	14	1
Fans	112	2
Power supplies	28	4
Line cords	28	4
KVM cables	14	1
Ethernet cables	28	8
Fibre Channel cables	28	4
Systems Mgmt cables	13	1

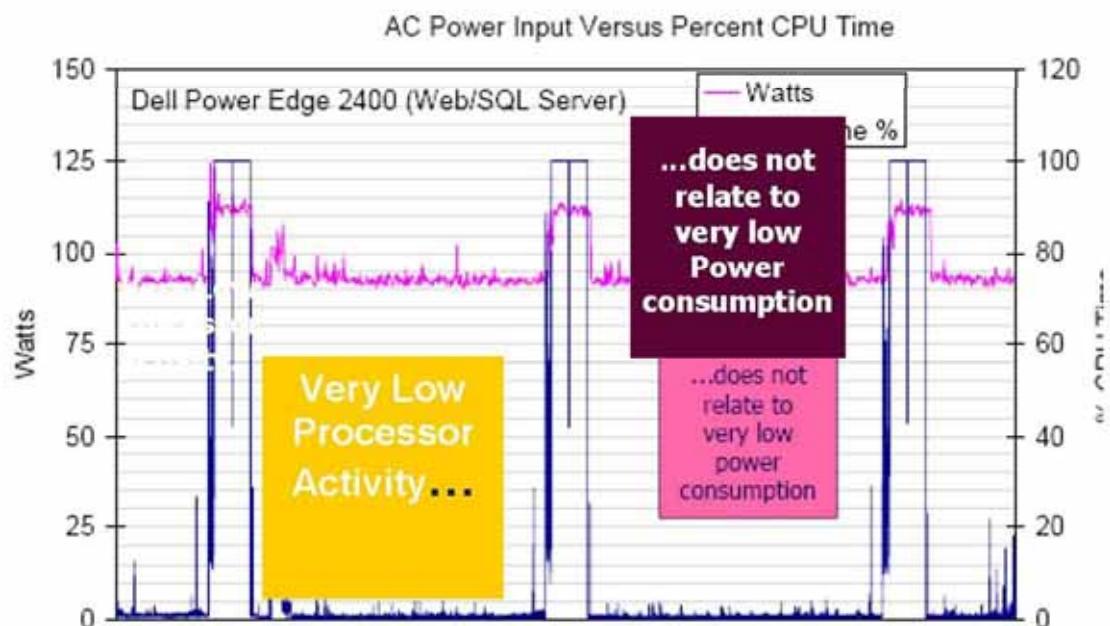


Source: IBM white paper 'BladeCenter packaging, power, and cooling'

- Blade servers consume about 10% less power compared to equivalent rack mount server 在相同机架上相较于传统服务器，刀片式服务器消耗电能要低10%
  - Common components in chassis – fans, communication cards, etc. 机架包括风扇、网卡等公共配件
- **Blades enable high density architecture!** 刀片服务器是高热密度架构

**EMERSON**  
Network Power

# Power Management Features 电源管理特性



**Servers consume 75%-80% of peak load power even when the processor is idle.**

即使服务器是空闲的，服务器也会消耗峰值的75~80%

relate to very low power consumption

Source: EPRI field measurements, page 22 of LBL *High Performance Buildings: Data Centers* Pub Dec 2005

- Typically power management features are turned off 关闭典型的电源
- Turning on power management feature reduces processor idle power to ~45% of peak 开启电源管理可降低处理器空闲能源峰值45%
- Some are concerned about response time 部分人关注服务器响应时间问题

# 供电系统的能量损耗

- 供电系统指的是从市电变压器、发电机组之后，包括ATS自动切换开关、配电系统、UPS、供电电缆等环节



# 供电系统的能量损耗

- 计算供电系统的损耗即为PUE供电因子，计算的数学模型为：

供配电因子Power Load Factor ( PLF )

=ATS开关损耗+低压配电系统损耗+UPS系统损耗+供电电缆损耗

- 其中ATS开关损耗、低压配电系统损耗、供电电缆损耗很小，基本上是铜损与接触电阻损耗，统计数据表明为1% ~ 3%左右，取中间值2%即为0.02

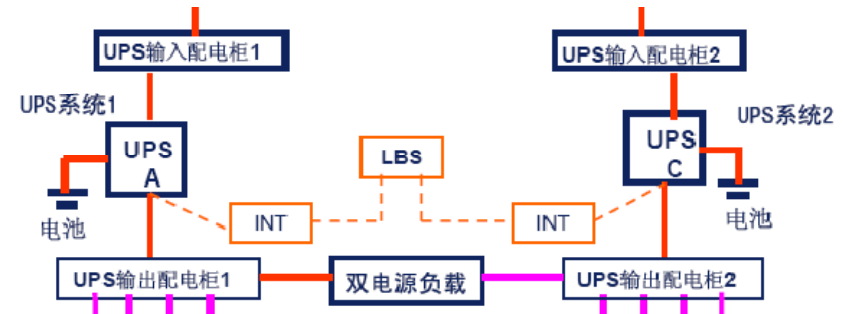
○

供配电因子Power Load Factor ( PLF )

=0.02+UPS系统损耗

# 供电系统的能量损耗

- 假设数据中心服务器等计算机类负载为100KW。配置2台UPS组成单机双母线解决方案，UPS选用200KV<sub>a</sub>/180kw (PF=0.9)
- 计算机类负载为100KW，两条母线上每台UPS平分负载，即每台UPS承担负载为50Kw，单台UPS的负载率：  
 $K=50/180=27\%$
- 艾默生Hipulse U 200Kva/180Kw UPS效率表。（注，表中数据为电池浮充电状态）
- 负载率27%，约等于25%，得出损耗率为：  
 $H=9.37\%$ ，即0.0937
- 则供电系统总损耗为：  
 供电因子Power Load Factor  
 $=0.02+UPS系统损耗=0.02+0.0937=0.114$



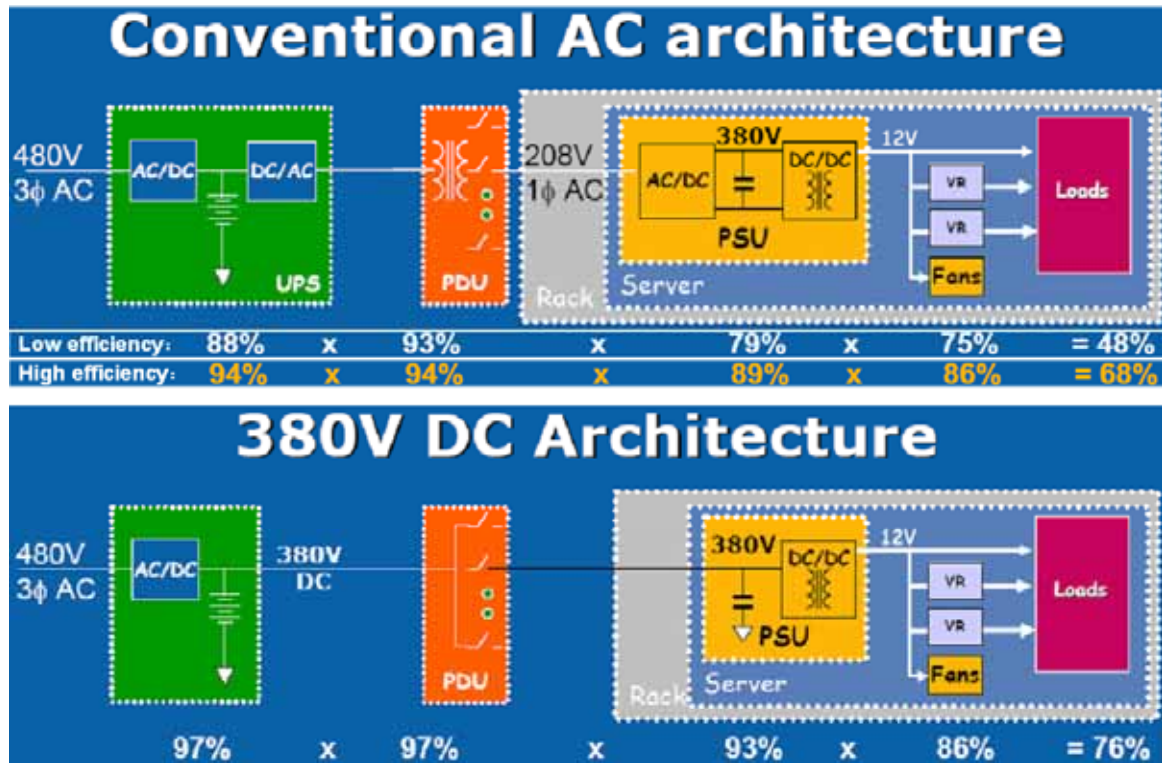
200Kva/180kw 12 脉冲 效率与损耗表

负载率	0	25%	50%	75%	100%
损耗	4.15	4.65	6.12	8.43	13.91
损耗率	NA	9.37%	6.37%	5.88%	7.17%
效率	NA	90.63%	93.63%	94.12%	92.83%

# 供电系统的能量损耗

- 数据中心供电系统节能发展趋势

- 取消昂贵而耗能的隔离变压器，自市电入户变压器后，所有供电设备与环节不再采用工频隔离变压器。
- 供电回路上，服务器工作电源是损耗最高节点，效率仅为70%~75%。未来可能采用高压直流技术（如380V直流系统），大大减少供电系统损耗。



# 制冷系统的能量消耗

- 数据中心机房环境对服务器等IT设备正常稳定运行起着决定性作用。数据中心机房建设的国家标准 GB50174-2008 《电子信息机房设计规范》对机房开机时的环境的要求：

项目	技术要求			备注
	A 级	B 级	C 级	
<b>环境要求</b>				
主机房温度 (开机时)	23±1℃		18~28℃	
主机房相对湿度 (开机时)	40%~ 55%		35~75%	不结露

- 数据中心机房环境服务器等IT设备造成影响：
  - 温度无法保持恒定 - 造成电子元气件的寿命降低
  - 局部温度过热 - 设备突然关机
  - 湿度过高 - 产生冷凝水，短路
  - 湿度过低 - 产生有破坏性的静电
  - 洁净度不够 - 机组内部件过热，腐蚀

# 制冷系统的能量消耗

## 1、机房热负荷计算方法一：各系统累加法

计算项	公式
1、外墙和屋面温差传热冷负荷计算	$Q1=KF \Delta t1$
2、外窗温差传热形成的冷负荷	$Q2=KF \Delta t2$
3、外窗太阳辐射的冷负荷计算	$Q3=FXgXdXzJn$
4、内维护结构传热的冷负荷计算	$Q4=KF \Delta t4$
5、人体散热的冷负荷计算	$Q5=N \Phi qnX=0$
6、照明灯具散热得冷负荷计算	$Q6=1000n1n0NXt$
7、除湿负荷计算	$Q7= M1G1X$
8、空气渗透冷负荷计算	$Q9=0.28G(i1-i2)$
9、设备散热的冷负荷	$Q9=Q0X$
总计	$\Sigma (q1 \cdots q9)$

以上热源组成了机房的总热负荷。计算复杂通常是采用工程查表予以确定。但是，因为数据中心的规划与设计阶段非常难以确定，所以实际在数据中心中通常采用设计估算与事后调整法。

# 制冷系统的能量消耗

## 2、机房热负荷计算方法二：设计估算与事后调整法

数据中心机房主要的热负荷来源于设备的发热量及维护结构的热负荷。

因此，要了解主设备的数量及用电情况以确定机房专用空调的容量及配置。根据以往经验，除主要的设备热负荷之外的其他负荷，如机房照明负荷、建筑维护结构负荷、补充的新风负荷、人员的散热负荷等，如不具备精确计算的条件，也可根据机房设备功耗及机房面积，按经验进行测算。

采用“功率及面积法”计算机房热负荷。

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

其中， $Q_t$  总制冷量 (KW)

$Q_1$  室内设备负荷 (=设备功率 × 1.0)

$Q_2$  环境热负荷 (=0.12 ~ 0.18KW/m<sup>2</sup> × 机房面积)，南方地区可选0.18，而北方地区通常选择0.12

方法二是对复杂科学计算的工程简化计算方法。这种计算方法下，通常容易出现计算热量大于实际热量的情况，因为机房专用空调自动控制温度并自动控制运行时间，所以多余的配置可以作为冗余配置，对机房专用空调的效率与耗电量影响不大。

# 制冷系统的能量消耗

数据中心的IT类设备为100KW。

再假定数据中心的负荷密度为平均热负荷密度，即4Kw/机柜。也就是说平均每个机柜为4kw的热负荷。

数据中心的机柜数量为： $100\text{kw}/4\text{kw}=25$ 台机柜

按国家标准 GB50174-2008 《电子信息机房设计规范》有关机柜占地面积计算方法，

2) 当电子信息设备尚未选型时，可按下列式计算：

$$A=FN \quad (4.2.3-2)$$

式中 F——单台设备占用面积，可取 3.5~4.5 (m<sup>2</sup>/台)；

N——计算机主机房内所有设备的总台数。

取每个机柜的占地面积为中间值4m<sup>2</sup>/台，那么数据中心的面积为：

$$25\text{台机柜} \times 4\text{m}^2/\text{台} = 100 \text{ m}^2$$

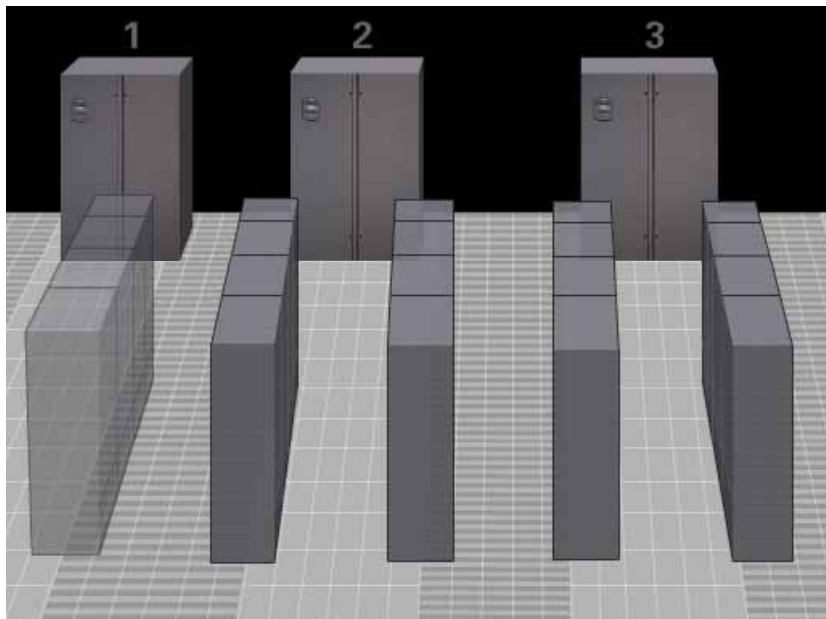
假定环境热负荷系数取0.15 KW/m<sup>2</sup>，则数据中心机房总热负荷为：

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = 100\text{kw} + 100 \times 0.15 = 115\text{kw}$$

# 制冷系统的能量消耗

- 配置

- 两台P2060机房空调，在24℃ 相对湿度50%工况下，每台制冷量为60.6kw，两台空调的总制冷量为121.2kw，略大于 $Q_t=115\text{kw}$ 的计算热负荷。
- 根据国家标准 GB50174-2008《电子信息机房设计规范》的数据中心空调配置建议，数据中心通常建议采用N+M（M=1，2，...）配置形式，提供工作可靠性与安全性。
- 假设本数据中心采用N+1方式配置，即为2+1方式配置3台P2060机房空调，实现两用一备工作。



# 制冷系统的能量消耗

- 机房空调耗电器件有：

- 压缩机，也是主要的耗电器件
- 室内风机，
- 室外风机
- 室内加湿器
- 再热器，用于过冷状态下加热
- 控制与显示部件等，耗电量较少，可忽略不计

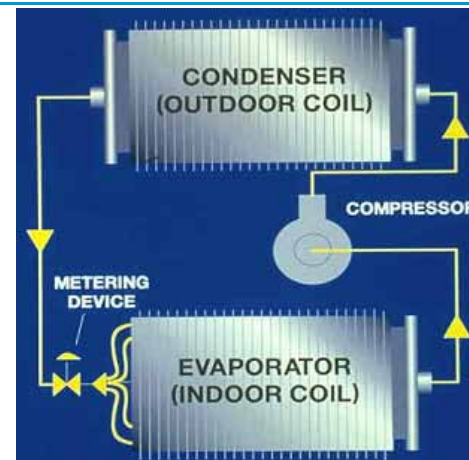
- 压缩机、室内风机、室外风机的耗电计算

- 压缩机、蒸发器、膨胀阀、冷凝器组成一个完整的冷热循环系统（空调四部件），其中耗电部分是压缩机、室内风机、室外风机等三个部件。
- 机房专用空调因为采用专用压缩机，所以能效比都在3.3~3.5之间。本例中按最大负荷制冷功率115kw，则3台艾默生P2060空调为两用一备，其中备份机在先进的iCom控制模块控制下，只有控制电源工作，能耗很少，忽略不计。
- 2台P2060空调，总制冷功率为121.2kw，取能效比中间值3.4计算，则四部件电功率为：

- $P_{四部件} = P_{制冷} / EER = 121.2\text{kw} / 3.4 = 35.64\text{kw}$ 。

- 室内加湿器功率

- 假设一台P2060空调的加湿器即可满足最大负荷下的加湿量，查相关产品手册远红外加湿器功率为9.6kw。
  - $P_{加湿} = 9.6\text{kw}$



# 制冷系统的能量消耗

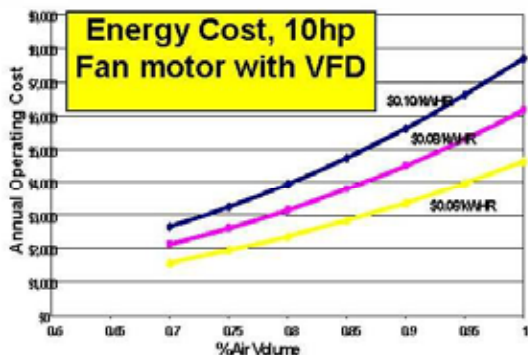
- 空调系统总的电功率消耗与制冷因子CLF指标为：
  - 功率： $P_{\text{空调}} = P_{\text{四部件}} + P_{\text{加湿}} = 35.64 + 9.6 = 45.24 \text{kw}$
  - 能效指标： $\text{PUE}_{\text{空调因子}} = \text{CLF} = 45.24 / 100 = 0.452$

# 如何减少制冷损耗之 可调节制冷容量

IT设备将会较高的制冷量和风速的可调节性

虚拟服务器以及电压管理系统的应⤵用，导致设备的耗电量经常变化

- IT loads will have a larger variation in cooling and airflow requirements
  - Range of available equipment (kW), Virtualization, Power Saving Mgmt
- Need to match the Cooling capacity with the IT load 制冷量需要与IT负载热容量匹配
  - Eliminates over cooling and improves cooling efficiency with reduced cycling 消除不必要的冷量和空气循环来提高制冷系统效率



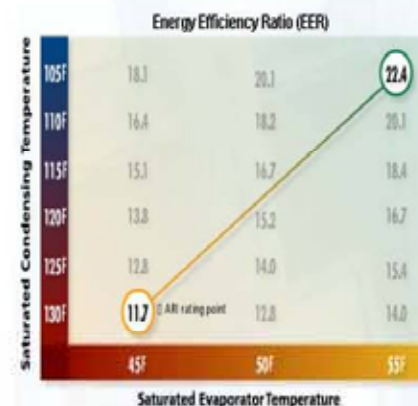
冷冻水方式

## Chilled Water Units

- Valve (CW) / airflow 流量调节阀
  - Variable Airflow 变风量
    - Reducing fan speed by 20% reduces power consumption by 50% 降低风速20%，可以降低能耗50%
    - VFD retrofit kits are available
- 应用可调节装置



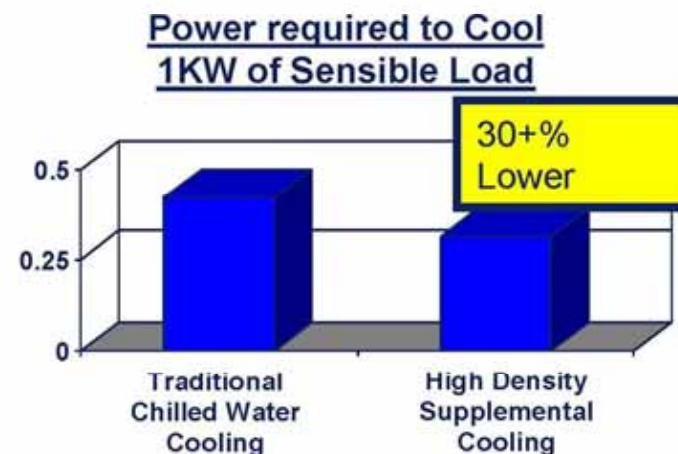
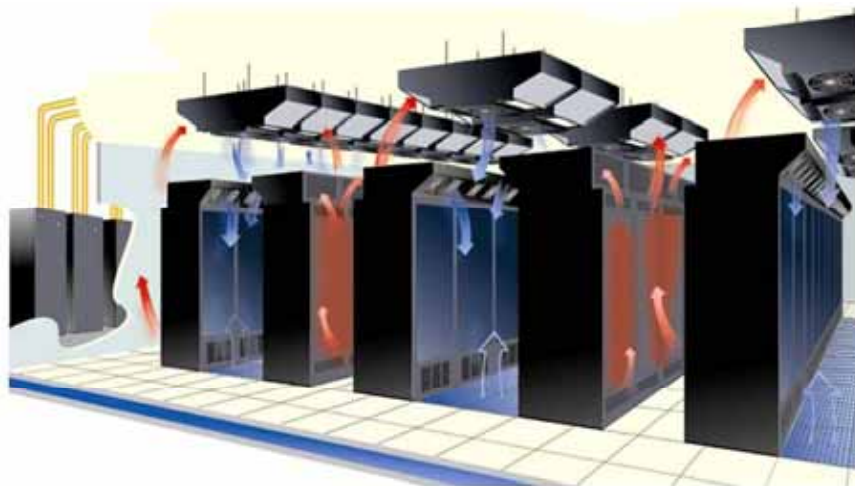
## Compressor EER



## DX Units 直接蒸发方式

- Compressor Unloading / Airflow
- Variable Compressors 可变压缩机容量
  - Multi-step / Digital 数控技术
  - Higher EER point 高能效比

# 如何减少制冷损耗之 高热密度制冷

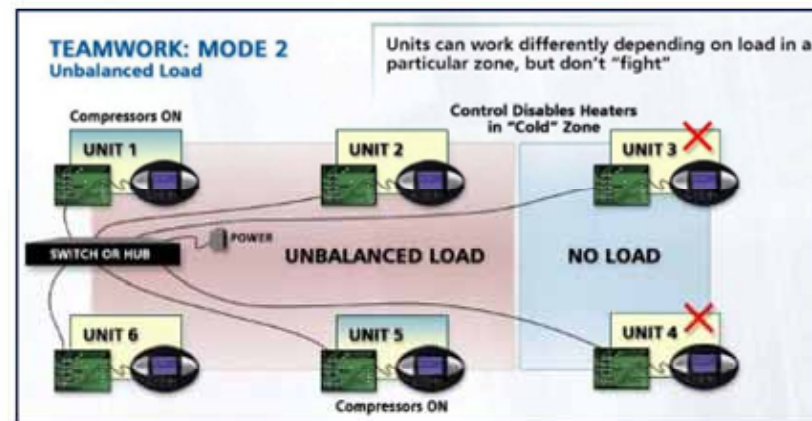


- Higher Efficiency Gains from “Cooling closer to the Source”: 制冷更接近热源
  - Lower Fan power – 65+% 低风机功率，降低65%
  - Higher performance cooling coils 高效蒸发器
    - Design
    - Higher enter air temperatures
  - 100% Sensible cooling 100%显冷
- Cooling modules reduce required floor space 制冷终端无需机房地面空间
- Cooling density available over 30kW 可冷却热密度超过30KW/机柜

# 如何减少制冷损耗之 监控并最优化

## Teamwork: None

UNBALANCED LOAD

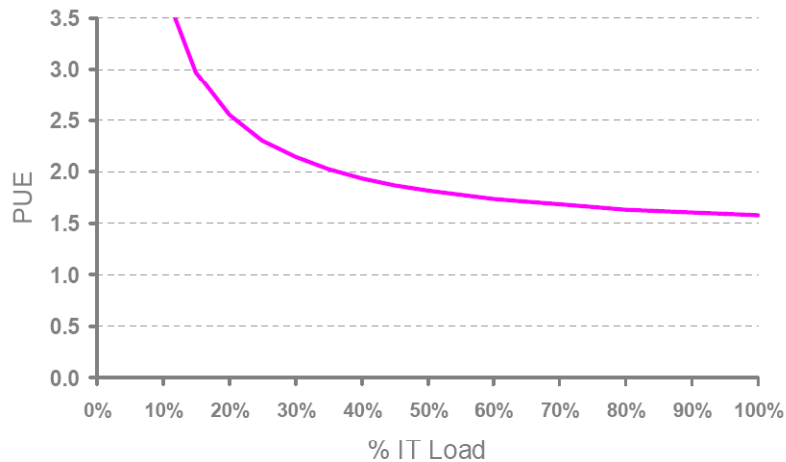


使用监控系统以及优化工具提高系统效率

- Use monitoring and optimization tools to improve efficiency
- Share data across multiple cooling units 多台空调共享数据
- Set rules to adapt cooling to the load 设置多机组逻辑控制规则
  - Manage compressor load across units 多台机组压缩机动态管理
  - Manage humidification & dehumidification 加湿和除湿管理
  - Cycling of units 机组自动轮巡

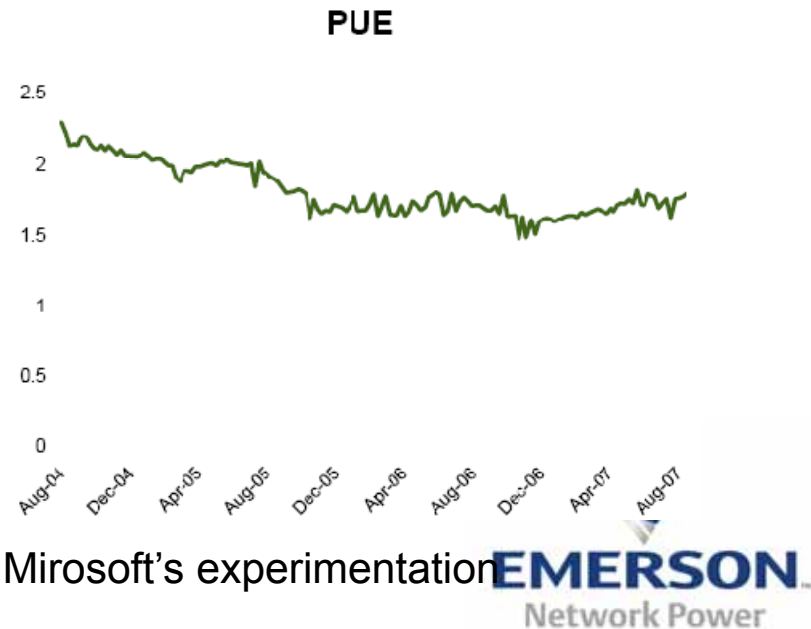
## PUE小结

- 数据中心的PUE为：
  - $PUE = 1 + PUE_{\text{供电因子}} + PUE_{\text{空调因子}}$   
 $= 1 + PLF + CLF = 1 + 0.114 + 0.452 = 1.566$
- 显然，一个设计与运营良好的数据中心，在空调系统配置正确，不考虑照明、新风机等设备下，能效比应该是小于1.6。



PUE曲线

All rights reserved 版权所有，仿冒必究  
Company Confidential 公司机密，不得公开



# 为什么数据中心不节能

- 主要是因为机房空调配置错误
  - 主设备能耗过高
  - 制冷系统设计不尽合理
  - 供电系统设计不尽管合理



All right  
Company Confidential 公司机密，不得公开

# 数据中心效率发展方向

- 刀片化、虚拟化，减少服务器数量，减低服务器能耗。
- 采用直流供电技术，大幅提高效率
- 液体制冷技术，减少空气对流散热



# 公司全球概况

➤ \$24.8 Billion in sales (2008)  
销售额达 248亿美元 (2008财年)



**NYSE: EMR**  
美国纽约证券交易所代码  
**EMR**



**Diversified global manufacturer and technology provider**  
多样化全球制造及技术企业



**Approximately 141,000 employees worldwide**  
全球员工约14.1万名



**Headquarters in St. Louis, Mo.**  
总部位于美国圣路易斯市

- 生产及/或销售遍及**150**多个国家
- 拥有**255**家生产设施，**165**家位于美国以外地区
- 名列 **2008** 《财富》全美**500**强企业第**111**位
- 成立于**1890**年

# 公司持续制胜的卓越业绩



**52 consecutive years**  
of increased dividends ...

EMR is one of a handful of public companies  
with 50 or more years of increased dividends

持续 **52** 年每股红利增长...

EMR 是少数获得**50**年或以上每股红利增长的上市公司

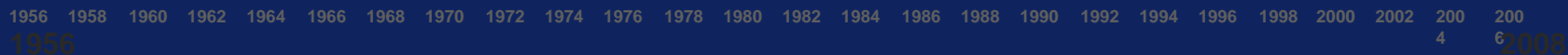
**\$3.11**

2008 Earnings Per Share  
2008 每股盈利

**\$1.20**

2008 Dividends Per Share

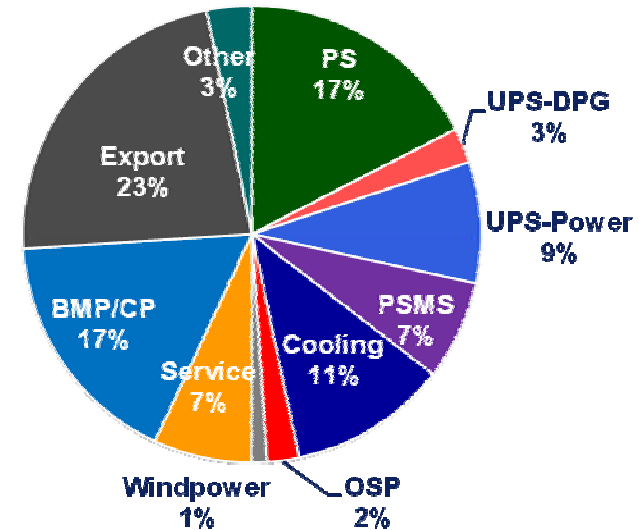
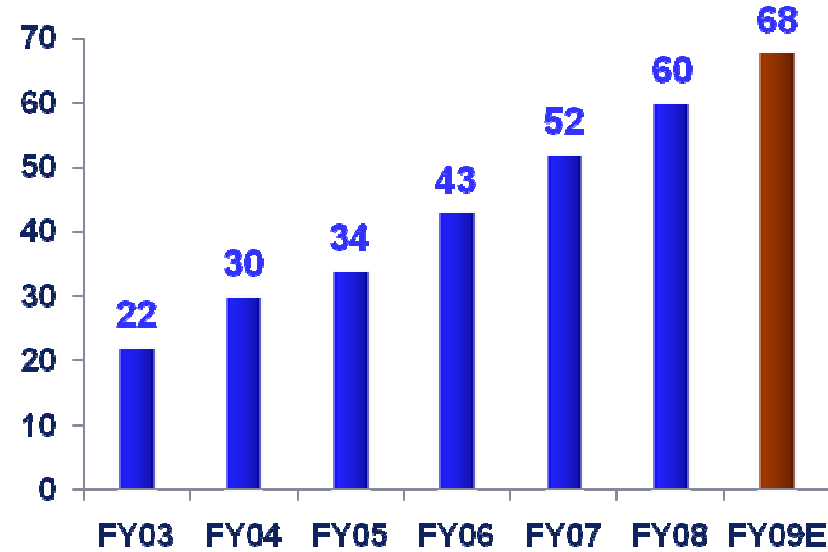
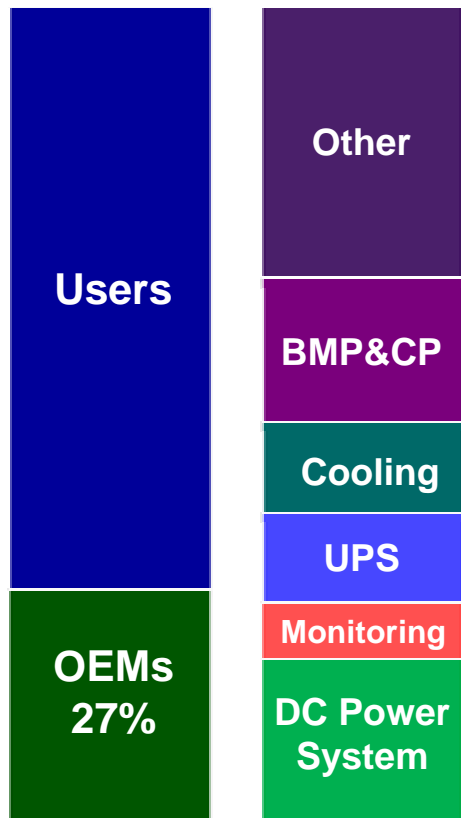
**\$0.01**



# 艾默生网络能源(中国)市场业绩发展

Orders (RMB 6.0B) in FY08

2008财年订单销售额 (RMB 6.0B)



Notes: IAC Sales excluded 注: 除去IAC销售

