

晋能集团

数据中心建设分析 – 规模和成本

晋能集团的电能成本优势在数据中心的运营过程中将为晋能集团每年节约超过一千万元的电费。数据中心的建设不仅需要考虑场地、设备、耗电，还应严格遵循国际的数据中心设计标准，对中心的服务可用级、布线、安全等等方面综合考虑。山西目前在数据中心的建设中还处于全国的落后地位，晋能集团的构想恰好可以提升山西省在这一领域的竞争力，并为晋能集团自身的转型与业务开拓新的机遇。

嘉迪正信（北京）管理咨询有限公司

配置管理编号 6001-RPT1001

夏锋

feng.xia@jadetrust.com.cn

廖子兴

lolo.liao@leanstrategy.com.cn

Abstract

在《晋能在山西境内建设与运营数据中心框架性建议草案》中，我们集中讨论了晋能集团建设大型数据中心的背景、建设选址、建设方式与核心技术、业务方向及相关政策法规。为了进一步配合晋能集团数据中心的前期规划与建设，我们搜集了相关资料，就数据中心建设规模与成本分析展开研究分析。其中最核心的几个问题包括：

1. 数据中心地域和建设规模
2. 数据中心的设计、建设
3. 数据中心的能耗成本分析
4. 数据中心的生命周期成本 (TCO)

我们期望本次研究的成果可以协助晋能集团客观、准确地评估数据中心项目，并为未来更细致的规划与实施打下坚实的基础。

Contents

1	数据中心地域和建设规模	4
1.1	全国数据中心规模和地域	8
1.2	规模分析建议	9
2	数据中心的设计、建设	11
2.1	数据中心的选址	12
2.2	数据中心的功能分区	12
2.3	机房环境	15
2.3.1	从温度和湿度的角度	16
2.3.2	从数据中心的布线角度	16
2.3.3	从设备安全的角度	17
2.3.4	从运行安全的角度	17
2.4	数据中心可用性分级 (Tiers)	17
2.5	建设分析建议	19
3	数据中心的能耗成本分析	21
3.1	电力能耗构成	22
3.2	电源系统的能耗分析 (ETX, EUPS)	24
3.3	空调系统能耗分析 (ECRAC)	25
3.4	IT 设备的能耗分析	25
3.4.1	服务器的能耗分析	26
3.5	数据中心的能耗效率值 (PUE)	27
3.6	成本分析建议	28

4	数据中心的生命周期成本 (TCO)	29
4.1	TCO 数据模型建设成本 (CAPEX)	30
4.2	TCO 数据模型运营成本 (OPEX)	32
4.3	TCO 成本解析案例	33
4.3.1	案例一：高端服务器 + 低电价 + 满负荷	33
4.3.2	案例二：低端服务器 + 高电价 + 满负荷	34
4.3.3	案例三：低端服务器 + 高电价 + 半负荷	35
5	总结	38
A	附录一：2012 年全国数据中心统计	40

List of Figures

1.1	2012 年全国各省数据中心数量	8
1.2	2012 年全国各省数据中心平均建筑面积	9
2.1	数据中心功能分区示意图	13
2.2	数据中心的功能区和布线示意图	15
2.3	典型的数据中心机房布置示意图	16
2.4	2010 年全国 IDC 总投入分解图	19
3.1	数据中心的能耗分解示意图	22
3.2	数据中心的电力能耗分类示意图	23
3.3	服务器电力能耗分解示意图	26
3.4	2012 年美国 Uptime Institute 全美数据中心 PUE 值调查结果	27
3.5	2008-2013 年谷歌公司数据中心的能耗效率 PUE 值	28
4.1	APC 估算的数据中心生命周期成本分解	30
4.2	TCO 估算一：高端服务器 + 低电价 + 满负荷	34
4.3	TCO 估算二：低端服务器 + 高电价 + 满负荷	35
4.4	TCO 估算三：低端服务器 + 高电价 + 半负荷	36

1

数据中心地域和建设规模

由于国际上对数据中心的规模缺乏一个统一而严格的定义，很多公司内部的机房和运算中心甚至都称之为数据中心，因此数据中心的规模也千差万别。美国环境保护署在 2003 年《全美数据中心报告》中，将带有服务器的计算机中心按实际机房的使用面积、IT 设备的特点、以及中心提供的 IT 服务及其运营效率细分为以下几种：

微型服务器机柜

- ☞ 平均面积：<200 平方英尺（约 22 平米）
- ☞ IT 设备特点：1-2 台服务器，无外挂存储
- ☞ 数据中心特性：冷却一般使用办公室的空调（HAVC）系统。服务器柜有时配有不间断电源（UPS）和直流电源。环境要求与其他类型的数据中心相比较低。机柜空调的效率与常见的办公室空调效率类似。

小型服务器机房

- ✎ 平均面积: <500 平方英尺 (约 55 平米)
- ✎ IT 设备特点: 1-12 台服务器, 无外挂存储
- ✎ 数据中心特性: 一般采用办公室空调系统, 并配有其他的制冷条件, 如针对机房的分级空调。空调系统和不间断电源的效率一般较低。

本地级数据中心

- ✎ 平均面积: <1000 平方英尺 (约 110 平米)
- ✎ IT 设备特点: 十二至上百台服务器, 有限的外挂存储
- ✎ 数据中心特性: 机房的地板下和房顶都配有换气系统, 室内配有机房专用的空调系统 (CRAC)。这些空调系统多为空气制冷并配有匀速的风扇, 因此效率较低。此类数据中心运营人员少, 所以设备和空调的优化率也较差。空气温度和湿度有严格的监控, 但供电和冷却系统的低效使得整个中心的效率也较低。

中级数据中心

- ✎ 平均面积: <5000 平方英尺 (超过 555 平米)
- ✎ IT 设备特点: 上百台服务器, 有大量的外挂存储
- ✎ 数据中心特性: 机房的地板下和房顶配有换气系统, 室内配有 CRAC。与前面的数据中心相比, 这类数据中心有更高的冷却效率, 如配有中央冷却水装置, 调速风扇等。中心的运营人员熟悉设备和制冷的最优化方案, 但不一定有实施经验。

企业级数据中心

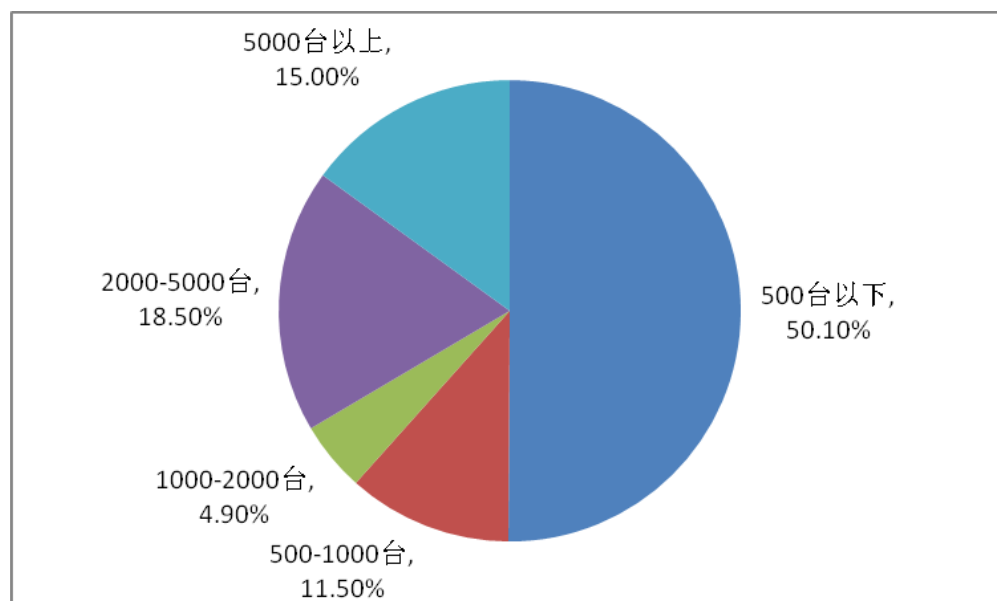
- ✎ 平均面积: >5000 平方英尺 (约 555 平米)
- ✎ IT 设备特点: 可达上千台服务器, 有大量的外挂存储
- ✎ 数据中心特性: 除高效的冷却系统外, 此类数据中心还配备了专门的能源管理系统。运营人员不仅熟悉设备和制冷的最佳方案, 并且很多都已付诸实施。但由于此类数据中心的各项节点都设计为最大的冗余能力, 整个中心的效率并不能完全体现优化运营的优势。

以数据中心最早起步也是最发达的美国为例, 全美数据中心的平均面积为 3,000 平米, 从建筑面积上已经达到了企业级数据中心的建设标准。这其中不乏“巨无霸”级的数据中心, 如全球知名的科

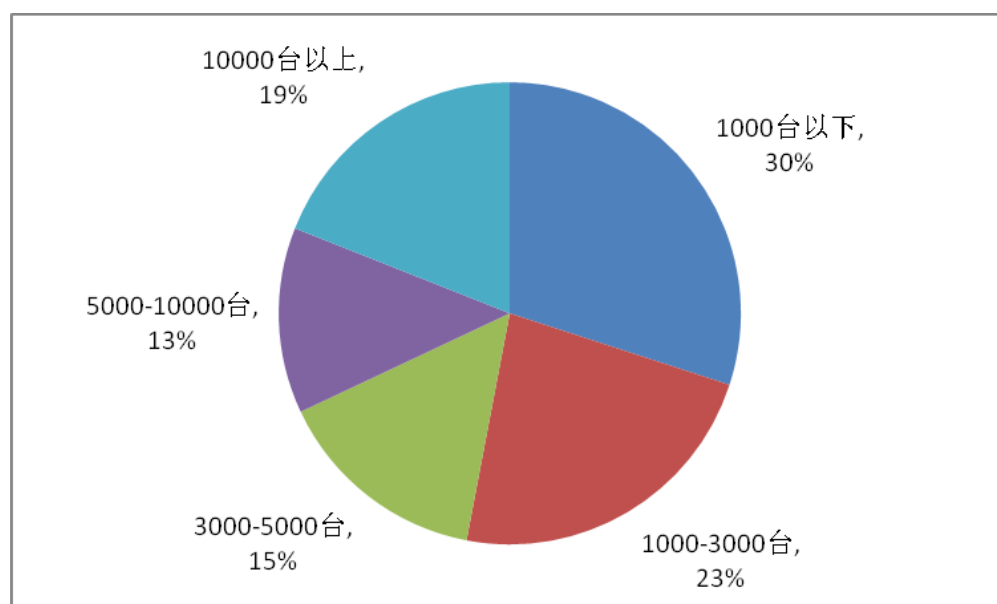
技公司脸书、苹果和谷歌等。为配合自身业务发展，它们各自拥有多个超过 3 万平米的超大数据中心。而福布斯 2012 年统计全球最大的 5 个数据中心更令人对数据中心的规模有了新的认识：

- ❏ 廊坊：IBM 和润泽科技共同投资修建，面积 62 万平米，预计 2016 年建成，建成后将是世界最大的数据中心。
- ❏ Switch SuperNAP：面积超过 30 万平米，位于美国的拉斯维加斯，选址的一个重要参考因素是美国内华达州多为沙漠，没有水灾隐患，也少有其他自然灾害。
- ❏ Utah Data Center：面积超过 15 万平米，位于美国的犹他州，是美国国家安全局（NSA）的内用数据中心，投资额 120 人民币。
- ❏ Lakeside Technology：面积 13 万平米，位于美国的芝加哥，借助五大湖丰富的水资源作为冷却途径。
- ❏ QTS Metro Data Center：面积 10 万平米，位于美国亚特兰大。与它同样规模的印度的 Tulip Data City 为是目前亚洲最大的数据中心。

数据中心的建设面积也相应的决定了内部可装载的服务器数量和它的数据容量。从历史数据看，单个数据中心的建设规模在不断扩大，这一趋势不仅是为了适应业务发展带来的数据量的不断放大，也为数据中心的建设和运营提供了规模效应。以国内在数据中心行业里起步最早也最成熟的电信业数据中心（IDC）为例，下图分别显示了全国电信数据中心 2010 年和 2012 年的服务器数量：



(a) 2010 年中国 IDC 公司机房服务器数量



(b) 2012 年中国 IDC 公司机房服务器数量

2010 年 1000 台以下的占比为 61.6%，而 2012 年 1000 台以下的占比已缩减到 30%。与此同时，5000 台以上的占比由 2010 年的 15% 增长到 32%。这其中 10000 台以上的占比 19%，超过了 5000-10000 台 13% 的占比，这清晰地显示出数据中心向大型化甚至超大型化发展的态势。

1.1 全国数据中心规模和地域

全国数据中心的数量没有一个权威的说法，一般认为 500 家左右。如前所述，数据中心的规模不同，每个统计的标准也不一样。下面以“中国 IDC 圈”2012 年发布的统计数据，就全国 IDC 的发展和分布情况做一个深入的分析，以便了解国内数据中心的现状。

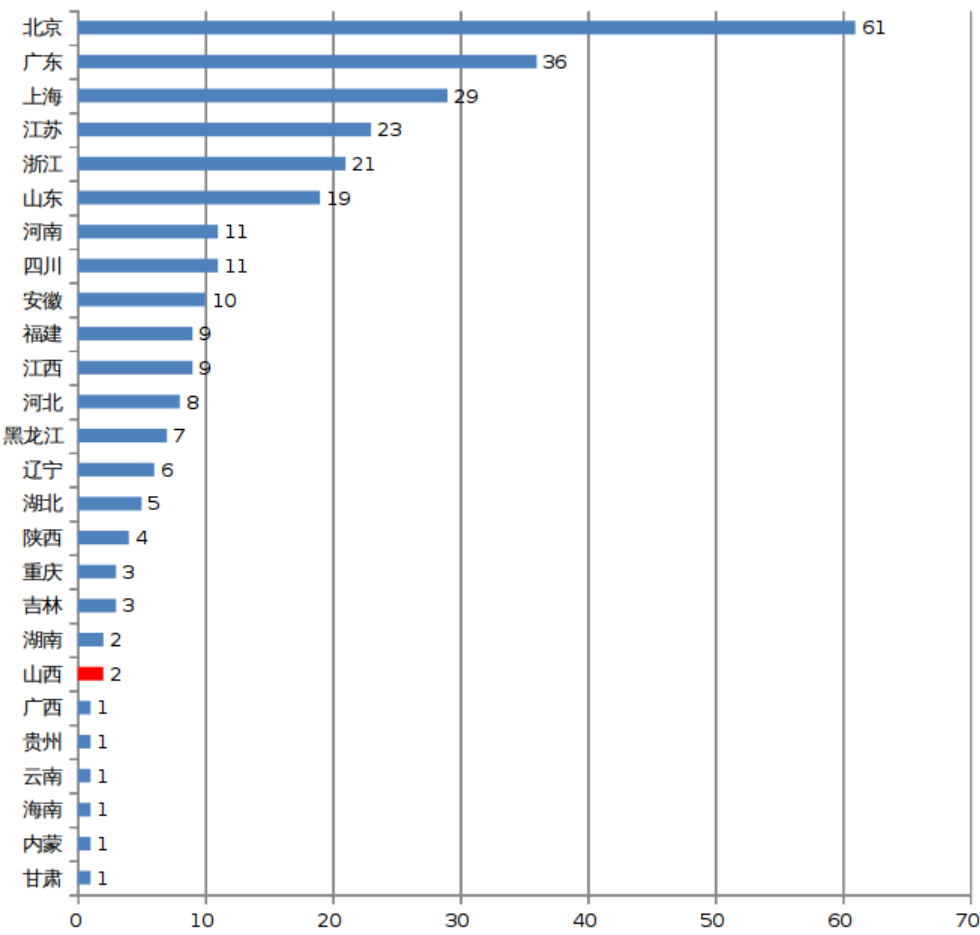


Figure 1.1: 2012 年全国各省数据中心数量

如图1.1中所示为 2012 年中国各省区数据中心数量统计表，可以清晰的看到，北京、广州、上海、江苏、浙江等发达省份的数据中心数量最多，而湖南、山西、广西、贵州、海南、内蒙、甘肃着几个地区，数据中心的数量依旧处于相对落后的状态。

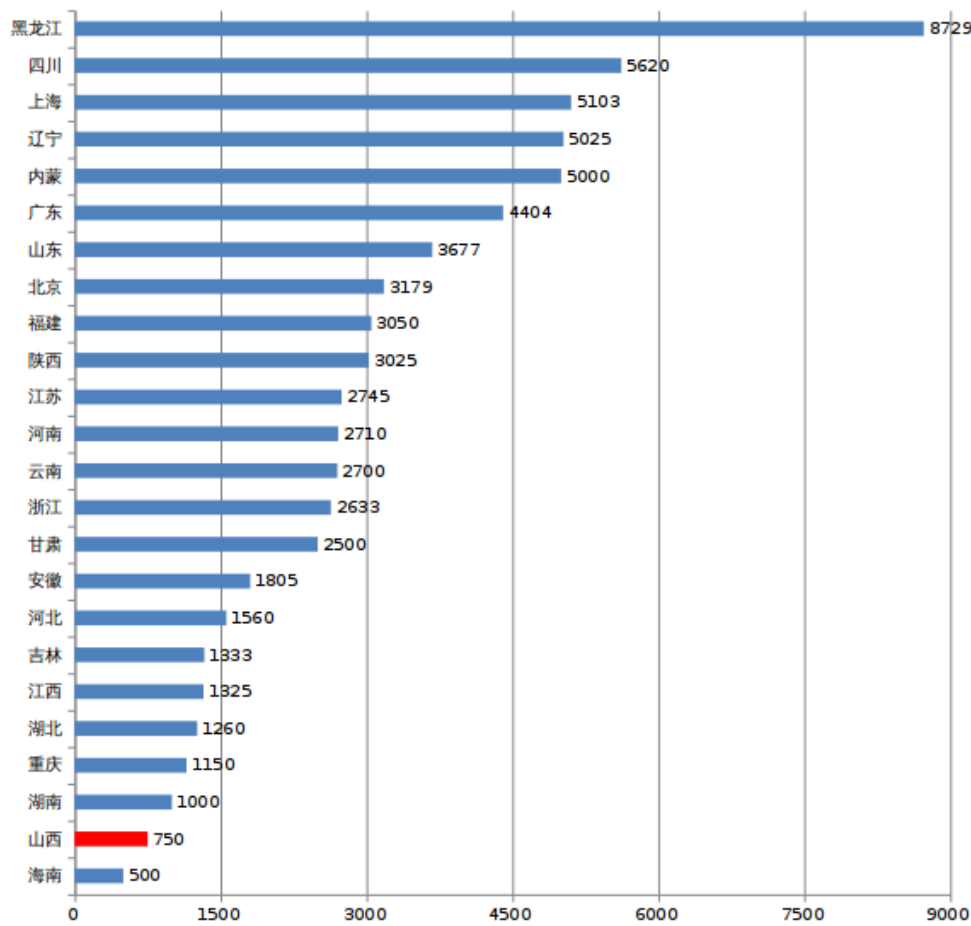


Figure 1.2: 2012 年全国各省数据中心平均建筑面积

如图1.2中所示，为 2012 年中国各省区数据中心平均面积分布图，与图1.1相对照，我们发现，在数据中心数量上最高的几个省份，其数据中心平均建设面积并不大。黑龙江数据中心的平均面积位于全国首位。其中，国裕绿色金融数据中心目前已经建成 4.3 万平方米，并预计项目总建筑面积为 12.8 万平方米。国裕绿色金融数据中心位于北纬 44° ~ 46°，年均温度为 3.5℃，全年有 6 ~ 8 个月的时间不用启动压缩机制冷，节约了一半电能。晋能集团也恰恰在电能成本上有独特的优势。

1.2 规模分析建议

根据以上的分析和统计数据，我们建议晋能集团所考虑建设的数据中心应该定位在大型的企业级数据中心，一个 42U 的机架加上过道等需要 30 平米的面积，一个机架可容纳 20 台 2U 的服务器，则一个服务器的平均占地面积为 1.5 平米。如果未来的数据中心有 10, 000 台以上的服务器，则仅

机房的建筑面积应在 1.5 万平方米以上。如果考虑数据中心其他的配套措施（详见第2章“数据中心的设计、建设”），一个万台服务器规模的数据中心的建筑面积将在 2 万平方米以上。山西省目前数据中心数量少，数据中心服务商领域处于相对真空状态，具有极大的提升空间，晋能集团借助自己的资源优势，打造先进、大型甚至超大型的数据中心，即可增加山西省在这一领域的竞争力，又可实现集团自身的能源战略和企业转型。

2

数据中心的设计、建设

数据的设计与建设应遵循通用的国际标准。最权威也最常用的为以下几个：

- ✎ 美国国家标准学会（ANSI）于 2005 年公布的 TIA-942 《数据中心电信基础设施标准》（“Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers”），并于 2008 年和 2010 年两次修订。标准中对场地，布线，网络等都有详细的规定和优化方案的建议，如平线中不间断光纤缆不超过 300 米，铜缆不超过 100 米等等。
- ✎ 以 Telcordia 主导修订的《数据中心的通信设备、场地要求》（GR-3160 “NEBS Requirements for Telecommunications Data Center Equipment and Spaces”）。NEBS 为全美最普遍使用的关于安全、空间和设施环境的建设指南。GR-3160 为主体，整套建设设计标准还包括了如 GR-78 《通信产品及设备的设计与制造标准》（“Generic Requirements for the Physical Design and Manufacture of Telecommunications Products and Equipment”）等十几项具体的设计规范。
- ✎ 美国国家标准学会（ANSI）的《数据中心设计与建设最佳方案》（ANSI/NECA/BICSI

–002, “Data Center Design and Implementation Best Practices”)

数据中心的设计和建设是一个十分复杂的系统工程，在遵循设计标准的基础上，需要考虑建筑面积、电力供应、可用性级别、服务器数量、网络带宽、用户类型、数据特点、线路分布方法、通道设计、系统冷却（HAVC）、场地安全、数据安全、设备维护等因素。在数据中心的设计中还应考虑未来业务变化而引出的空间拓展、容量扩容、服务可用性提升、提高能源使用率等等可预期的发展，针对不同的发展要求设计对应的解决方案。例如，由谷歌首创的集装箱式数据中心，将中心的所有电力、网络、电信设备都模块化，整箱上线或下线，简化了扩容和维修的安装、运营成本，但同时也对电力配送、电信接口等提出了更高的要求。下面我们就以几个设计标准为基础，对数据中心的场地和布线两个关键问题进一步深入分析。

2.1 数据中心的选址

数据中心设计的第一个挑战是选择一个适合建造的场地。场地的大小标志了数据中心的具体规模，有的数据中心会占一栋大楼的一个房间、一层或多层，甚至整栋大楼，除此之外，数据中心对于其内部的辅助环境的要求也十分严格，数据中心的选址接近可用的电网，电信基础设施，网络服务，交通运输线路和应急服务区域，这些方面可以直接影响数据中心建设的成本，风险，安全性和其他因素。好的选址对从根本上影响数据中心的设计，因为气候条件决定什么样的冷却技术，什么样的设备部署。反过来，也会影响设备的正常运行时间以及消耗在设备冷却上的成本。例如，在一个温暖，湿润的地方建立数据中心，和在一个在阴凉，干燥的气候的区域建立中心，在付出的建设成本和管理成本上的差别是很大的。

2.2 数据中心的功能分区

TIA-942《数据中心电信基础设施标准》根据功能将一个数据中心分为 5 个区。一个数据中心中典型的区域一般包括入口房间、主要分布区域（MDA）、水平分布区域（HDA）、区域分布区域（ZDA）和设备分布区域（EDA）。根据数据中心的规模，不是所有这些区域都用在同一个结构中。这些区域的设计应该考虑能够适应进化技术的增长和转变。这些区域可以是无墙的，也可以有墙的，或者是从其它计算机房空间独立出来的。数据中心电信空间包括入口房间、主要分布区域（MDA）、水平分布区域（HDA）、区域分布区域（ZDA）和设备分布区域（EDA）。

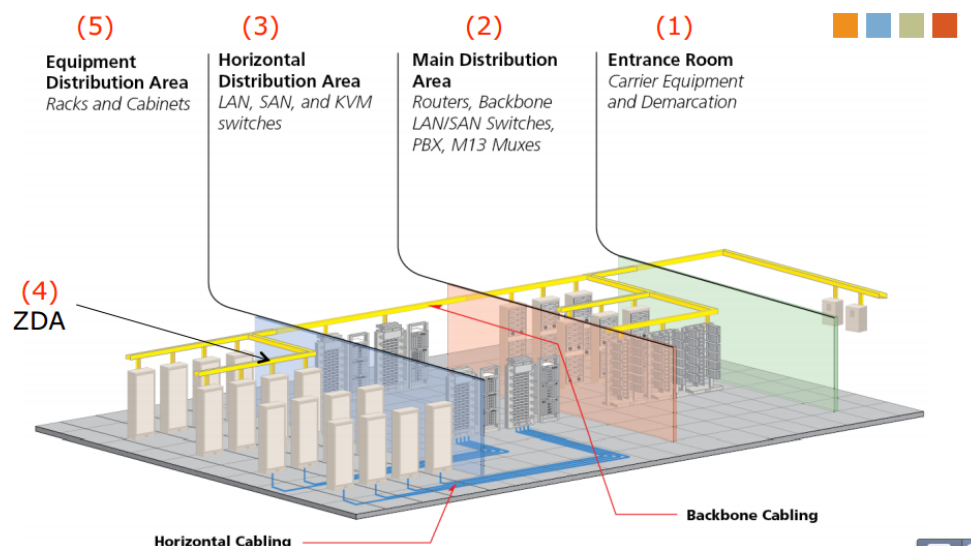


Figure 2.1: 数据中心功能分区示意图

入口区 (**Entrance Room, ER**) 入口房间是用于数据中心结构电缆系统和建筑物内部电缆的接口。这个空间包括网络运营商的分隔硬件和设备。如果数据中心在一个一般办公用途或除数据中心外还有其它性质空间的建筑物中，入口房间可以位于计算机房外面。入口房间位于计算机房外面也可以增加安全，因为它避免了网络运营商技师进入计算机房。数据中心可以有多个入口房间来提供给附加的冗余或用来避免网络运营商的备用电路超过最大的电缆长度。入口房间通过主要分布区域与计算机房交界。入口房间可以与主要分布区域相邻或与主要分布区域结合。

主分布区 (**Main Distribution Area, MDA**) 包括主要十字连接 (MC)，它是数据中心结构电缆系统分布区域的中心点。当设备区域直接从主要分布区域得到服务时，主要分布区域也可能包括水平交叉连接 (HC)。这个空间是在计算机房内的。在多租客数据中心，为安全起见，主要分布区域可以位于一个专用房间。每一个数据中心必须至少有一个主要分布区域。计算机房中心路由器、中心局域网 (LAN) 开关、中心存储区域网络 (SAN) 开关和专用的分枝交换 (PBX) 是经常位于主要分布区域的。因为这一空间是数据中心电缆基础设施的中心。网络运营商的备用设备 (如：M13 多路 (复用) 器) 是经常位于主要分布区域而不是在入口房间，这样可以避免由于电路长度限制而需要第二个入口房间，主要分布区域可以服务于一个数据中心中的一个或多个水平分布区域或设备分布区域，一个或多个电信房间位于计算机房外面用来支持办公空间、操作中心和其它外部支持房间。当水平交叉连接 (HC) 不位于主要分布区域中时，水平分布区域是用来服务于设备区域的。因此，当水平分布区域被使用时，它可能包括水平交叉连接 (HC)，该水平交叉连接 (HC) 分布给电缆到设备分布区域的点。

水平分布区 (**Horizontal Distribution Area, HDA**) 是在计算机房中的, 但为安全起见, 它可以位于计算机房中的一个专用房间。水平分布区域一般包括 LAN 开关、SAN 开关和位于设备分布区域末端设备的键盘/视频/鼠标 (KVM) 开关。一个数据中心可以有计算机房空间在多个楼层, 每层由它自己的 HC 来服务。当全部的计算机房空间可以支持主要分布区域时, 一个小型的数据中心可以不要求水平分布区域。然而, 一个典型的数据中心将有几个水平分布区域。

区域分布区 (**Zone Distribution Area, ZDA**) 这一区域位于水平分布区域和设备分布区域之间, 允许时常发生的重新配置和机动性。这个区域为可选。

设备分布区 (**Equipment Distribution Area, EDA**) 是分布末端设备的空间, 包括计算机系统和电信设备。这些区域必须不能用作入口房间和主要分布区域或水平分布区域。

数据中心以功能分区为基础进一步设计出联接这些分区的电源线路、网络线路、冗余配置、冷却输送、场地安全监控等等相配套的解决办法。理想状态中一个数据中心的功能分区都是相互隔离的物理空间, 但一般设计中很难做到, 因此如何划分五个功能区和在运营中如何管理它们就成了数据中心设计中的一个关键环节。

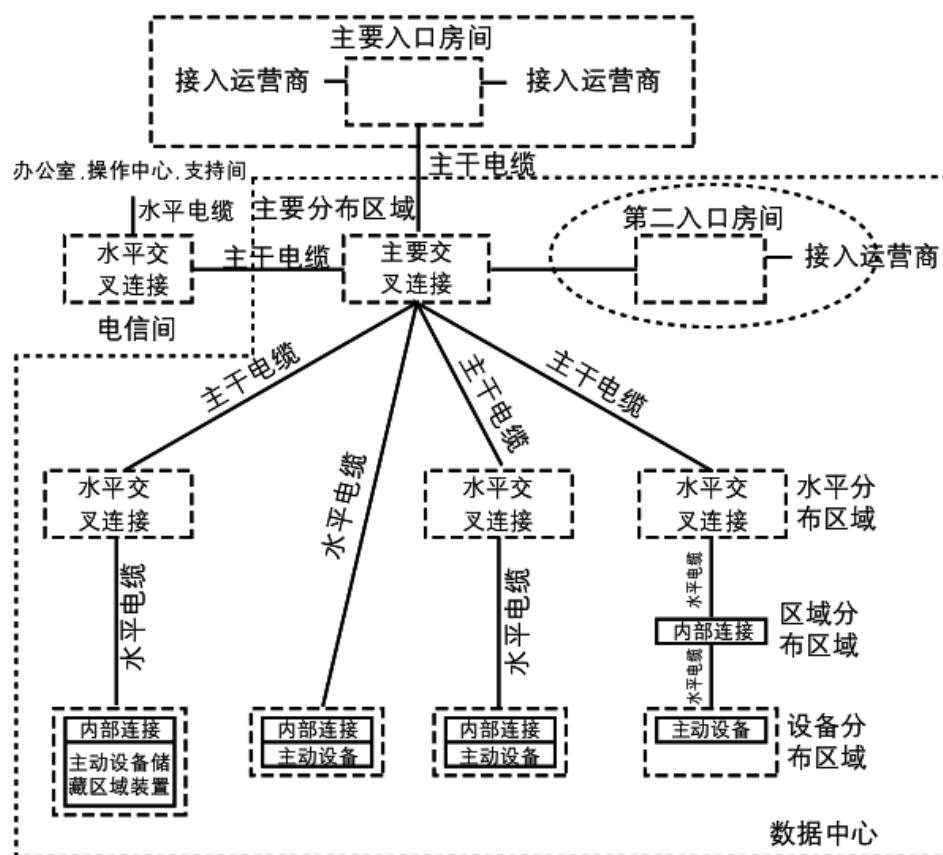
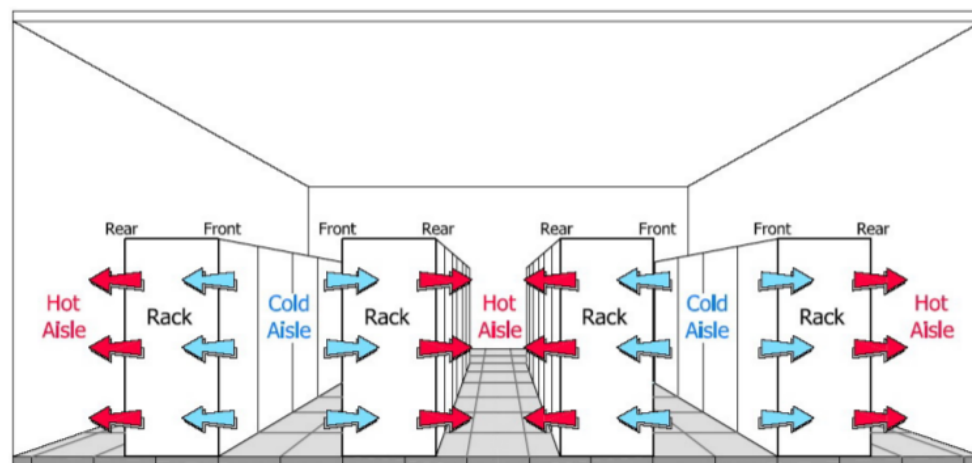


Figure 2.2: 数据中心的功能区 and 布线示意图

通常情况下，大部分的设备需要放置在 19 英寸的隔层机架中，在每一排机架之间留出足够的走廊，以便于人们能够对服务器进行处理。同时，由于数据中心的规模是预先设计好的，因此，模块化和灵活性也就成为了数据中心建设的一个关键参数。数据中心在建设过程中采用标准化的构造模块，可以方便地对其进行配置和移动，使得数据中心可以随着时间点推移、规模的提升而不断地扩容。比如对于一些非常大的数据中心可能需要集装箱来放置，每个集装箱可以放置 1000 个以上的服务器；在需要整体维修或者设备升级的时候，可以直接将整个集装箱进行替换，而不是对单个服务器进行操作。

2.3 机房环境

数据中心由于聚集了高密度的电子设备，对机房的环境十分严格，这在后面数据中心分级的时候还会谈到。这里就以下四个纬度进行分析：场地温度和湿度，布线，设备安全，和运行安全。



Source: ASHRAE (2004)

Figure 2.3: 典型的数据中心机房布置示意图

2.3.1 从温度和湿度的角度

数据中心主要依赖机房空调（CRAC）来控制温度和湿度。正如 ASHRAE's《数据处理环境的热量指导》中所规定，数据中心的温度在 16-24°C，湿度在 40-55% 之间。热电源会使得空气的温度升高导致设备故障，同时，过高的湿度会使得内部组件短路，过低的湿度则会导致静电放电损坏内部组件。

数据中心消耗的电能中有近一半都用于维持机房环境的温度和湿度，由于数据中心的规模越来越大，如何降低这部分能耗已经成为了很多中心扩容的瓶颈。现代数据中心的无窗设计，甚至全封闭的无灯 (light-out) 模式，还有选址在冰岛等北欧国家以借助其特殊的气候优势等，都是为了在满足机房内部温度与湿度的严格要求的前提下，寻求空调等等辅助设备的成本节约。

2.3.2 从数据中心的布线角度

数据中心内部成千上万的服务器都需要两个最基本的线路：电和通信网。这些线路不仅密度高，而且对电磁场隔离、信号传导距离、热量扩散等也提出了严格的要求。数据中心的基础高度至少高于地面 60cm(T1)，并且下面采用架空地板（Telcordia GR-2930《NEBS：地板网络和数据中心的通用要求》中，对于可移动式架空地板、非移动式架空地板有着详细的说明），使得地表可以更好的通风，另外同时也可以为数据中心的电力电缆提供布线的空间；而另一种方式则是采用架空电缆，但是相对比地下电缆来说安全性相对较低。架空地板承重至少 7.2 KPA，建议 12 KPA，即每

平米承重 1,200 公斤。

2.3.3 从设备安全的角度

建设数据中心需要建立配套的防火系统，采用烟雾检测器、自动灭火装置、设备防火墙以及应急电源终端的方式，实现对数据中心的火灾防护。

2.3.4 从运行安全的角度

一方面要采用 UPS 备用电源或者多个不间断供电发电机组保证对整个数据中心的不间断供电，同时，为了防止单点故障，所有的设备，包括备份系统、电气系统，全部需要热备，这样的做法是为了确保当遇到紧急情况时，可以瞬间实现双机切换，以避免服务中断。另一方面则利用安全控制系统、视频监控、数据安全报警、人员授权等方式保证数据中心的信息安全与运行安全。

2.4 数据中心可用性分级 (Tiers)

数据中心的规模除了考虑场地条件和服务器数量外，一个核心指标就是它的可用性分级。TIA-942 根据数据中心对服务可用性的要求，将数据中心分为四级。这些级相对应的是详细的设计指标，包括建筑设计（如层高、每平米电力供应瓦数、系统风险点）、安全（如场地、设备、网络、数据）、电气、机械、电信网络等等各个方面，随着级别的提高，服务可用性也越来越高，随之的建筑成本也越来越高。

一级 (T1)

- ☞ 每年的宕机时间在 28.8 小时以下
- ☞ 保证 99.671% 的可用性
- ☞ 有可能因为计划的或突发的事件而中断服务
- ☞ 电力输送和冷却都为单路，没有冗余 (N)
- ☞ 架空地板，不间断电源 (UPS) 和发电设备为可选配置
- ☞ 检修维护需要完全关闭场所的电源或设备电源
- ☞ 建设周期为 3 个月

- ✎ 架空地板每平米造价：2 万人民币

- ✎ 电压要求：208V，480V

二级 (T2)

- ✎ 每年的宕机时间在 22 小时以下

- ✎ 保证 99.741% 的可用性

- ✎ 与一级相比，更不易发生服务中断

- ✎ 电力和冷却都为单路，有冗余组件 (N+1)

- ✎ 包括架空地板，UPS，和发电设备

- ✎ 检修电力系统时可分步按预定的程序关闭

- ✎ 建设周期 3-6 个月

- ✎ 架空地板每平米造价：3 万人民币

- ✎ 电压要求：208V，480V

三级 (T3)

- ✎ 每年的宕机时间在 1.6 小时以下

- ✎ 保证 99.982% 的可用性

- ✎ 除突发事件外，服务不会中断

- ✎ 电力和冷却都为多路，但只有一路在线，有冗余组件 (N+1)

- ✎ 包括架空地板，并且当一路因检修而不能服务时，另一路都有足够的容量支持全部用户服务

- ✎ 建设周期 15-20 个月

- ✎ 架空地板每平米造价：5 万人民币

- ✎ 电压要求：12-15 千伏

四级 (T4)

- ✎ 每年的宕机时间在 0.4 小时以下

- ☞ 保证 99.995% 的可用性
- ☞ 关键负载和服务可承受突发事件和至少一个可设想的最坏情况
- ☞ 电力和冷却都为多路在线，有冗余组件 ($2 * (N+1)$)
- ☞ 建设周期 15-20 个月
- ☞ 架空地板每平米造价：6 万人民币以上
- ☞ 电压要求：12-15 千伏

2.5 建设分析建议

晋能集团先天的电力资源优势为实现数据中心的多回路、多冗余创造了条件，我们建议建造 T2 或 T3 级的数据中心。T4 级由于对可用性的要求超高，不仅需要实现硬件的高标准，对运营的管理和人员素质都十分苛刻。T4 四个 9 的可用性意味着每五年仅有一次因火警或不可预见事故引起的服务中断。而 Uptime Institute 的调查显示，即使目前已经建成的 T4 级的数据中心中，也仅有 10% 能真正做到这个要求。

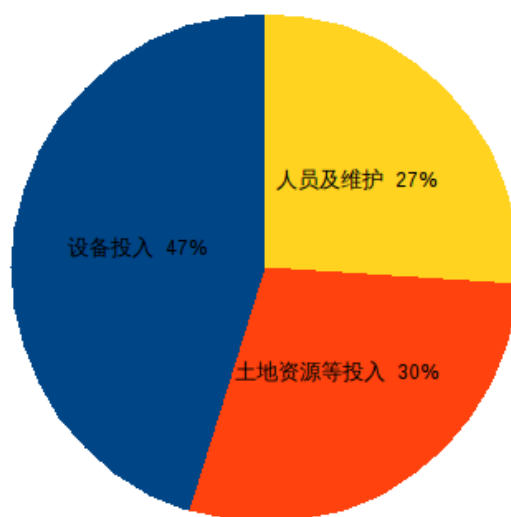


Figure 2.4: 2010 年全国 IDC 总投入分解图

工业和信息化部电信研究院邮电工业产品质量监督检验中心的《数据中心机房节能简析》报告中指出，2010 年全国 IDC 的总投入中，设备投入占 47%，土地等资源的投入占 30%，人员及维护占

23%，这也再次验证了晋能集团的土地资源、电力资源和场地配套设备上的成本优势在数据中心这个行业将转化为强大的竞争力。

3

数据中心的能耗成本分析

建设一个数据中心不仅需要大量的资本，高额的运营成本也令很多投资人止步。这其中，又以电力能耗为所有成本里的重头戏。根据美国环保部于 2005 年提交给美国国会的《数据中心调查报告》显示，一个数据中心的耗电量可以相当于 40 个商业办公楼的耗电量 (Greenberg et al. 2006)。以美国为例，2006 年全美数据中心耗电 610 亿千瓦时（度），相当于全美国发电总量的 1.5%，电费则高达近 3000 亿人民币（折算）。美国环保部在报告中 2011 年时的数据中心消耗将为 2006 年的近一倍，以此推算，如果我国的数据中心发展达到美国的发展水平，则根据我国 2011 年电力装机容量 10.6 亿千瓦，2011 年全年发电量 4.7 万亿千瓦时（度）计算，数据中心的电能消耗将想当与全国发电量总量的 2.5%。

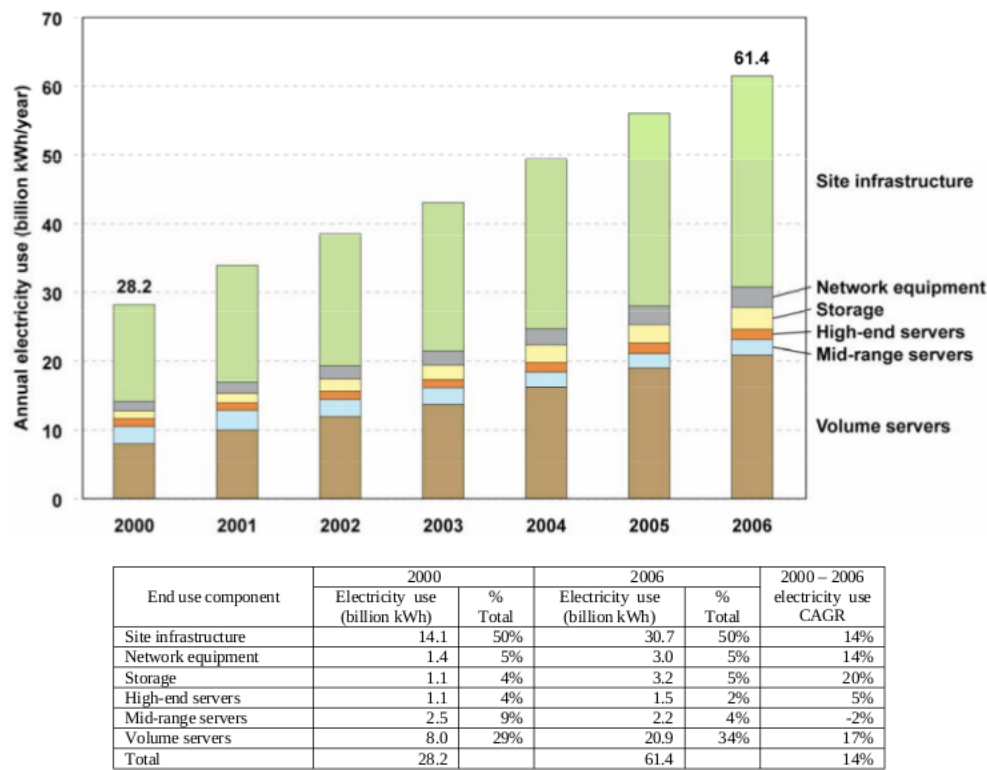


Figure 3.1: 数据中心的能耗分解示意图

数据中心机房能耗主要分为服务器/网络设备能耗、制冷能耗、供电系统能耗、照明和其他能耗。根据 EYP Mission Critical Facilities 所提供的数据，至少 50% 的数据中心用电量是被服务器/网络设备所消耗。制冷系统是数据中心内第二大能耗系统，其耗电量占数据中心总耗电量的 37%。供电系统占 10%，照明和其他占 3%。

3.1 电力能耗构成

数据设备是承载数据中心的业务核心设备，同时也是耗电量所占比最大的设备。根据美国亚马逊 James Hamilton 的研究，数据中心服务器硬件所消耗的电力费用约占 57%。针对不同规模的数据中心，该费用比例是不同的。电力消耗中只有用于 IT 设备的电能是有效的，而那些用于周边设备和场地等的都被视为是运行中的系统开销。数据中心的系统开销沿电力传送的线路和网络可大致分为以下 9 大类：

- 1. ESIS: 辅助设施和分级站点的能耗，如冷却基地，场地灯光，办公室，一些办公网络设备。
- 2. EITS: IT 分级站点的能耗

3. ETX: 高压/中压变压是产生的电能损耗
4. EHV: 高压电缆的电能损耗
5. ELV: 低压电缆的电能损耗
6. EF: 燃油与天然气设备的能耗
7. ECRAC: 空调设备的能耗
8. EUPS: 不间断电源的能耗
9. ENet1: 网络数据线的能耗

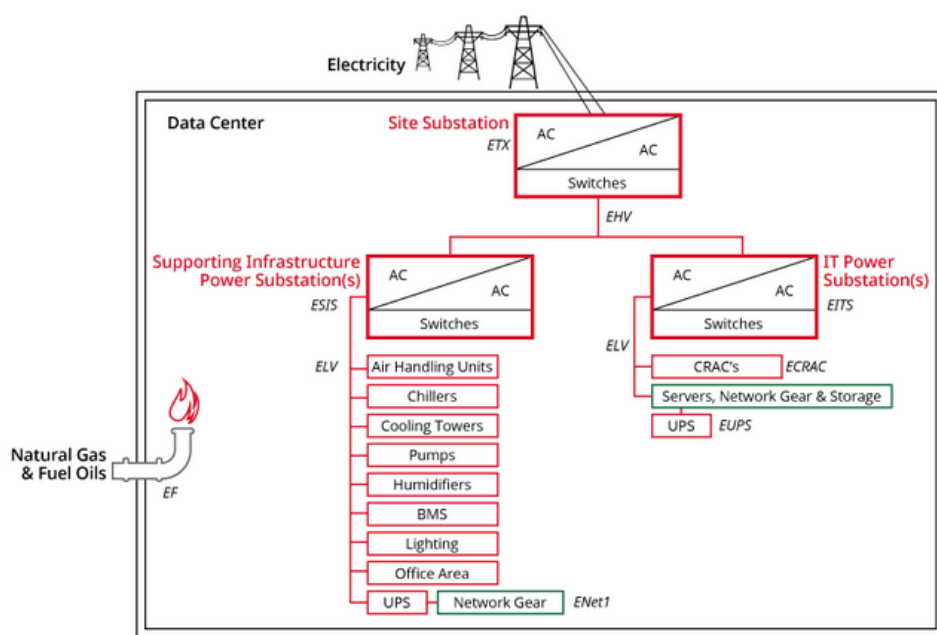


Figure 3.2: 数据中心的电力能耗分类示意图

图3.2中，红色部分为系统开销，是为数据中心的辅助设备消耗的电力资源；绿色部分是服务器、网络设备等核心设备的电力开销。一个数据中心的系统开销对核心开销的比例越小，它的电力使用效率也越高，运营中的电力成本也就越低。下面就电源系统、IT 设备、空调系统三个最大的耗电部分做详细的阐述。

3.2 电源系统的能耗分析 (ETX, EUPS)

电源系统能耗约占数据中心总能耗的 10%。对数据中心而言, 电源能耗主要集中在 UPS 的能量消耗。UPS 的电源转换效率与负载率相关。传统 UPS 的电源转换效率随着负载率的增加而提高, 在输出负载满载的情况下达到最大的电源转换效率。当负载率较低时, UPS 会工作在低效率区域。因此 UPS 的使用要考虑与用电负载匹配的因素, 可以选择转换效率 - 负载率曲线比较平直的高效 UPS 系统, 当负载率比较低时, UPS 也能够输出较高的转换效率。UPS 的输入谐波、输入功率因数等性能参数同样对数据中心的节能具有一定影响。谐波电流导致变压器的铜损和杂散损耗的增加, 谐波电压导致变压器的铁损增加。谐波的存在使得变压器温升增加, 并且导致变压器的带载能力下降。严重的谐波分量会造成柴油发电机停机, 这对数据中心来说是不允许出现的。因此对谐波的治理不仅仅是从节能角度出发, 更应该从数据中心稳定运行的要求进行虑。

以工频脉冲为代表的传统交流 UPS 系统在目前供电系统运行中存在的以下问题:

- ❏ 系统可靠性: 系统复杂、存在单点故障、维护难度大。
- ❏ 系统电流谐波干扰: 系统中存在两个谐波源, 对电网和系统本身易形成干扰, 需要增加滤波设备, 降低输入功率因数和能源利用率, 对地线系统要求较高。
- ❏ 系统成本和能源消耗: 能量两次转换降低了效率, 系统复杂性提高了购置成本和运行成本。
- ❏ 系统的灵活性、可扩展性受限: 以计划容量一次性投入、难以变更和扩展, 缩短了生命周期。
- ❏ 系统维护: 要求较高的维护水平, 故障维修困难。

在以上各种问题中, 可靠性和可用性不高是传统 UPS 供电系统结构所固有的问题, 为了提高供电的可靠性和可用性, 使得系统不断复杂化, 设备堆积、结构臃肿、效率难以再有效提高, 也会造成投资成本不断攀升, 而最后系统可靠性也很难有效地提高。

近几年来, 对传统交流输出 UPS 进行直流化改造的问题得到了普遍地重视, 国内外通信运营商、众多知名电源设备厂商、研发团体、专家都针对直流供电系统 (直流 UPS) 的可靠性、安全性, 兼容性问题提出了对交流输出 UPS 进行直流化改革的观点和意见。在国内中国电信大胆地开展了高压直流供电系统运行试验和应用尝试, 并取得了阶段性成功经验。通信行业标准《通信用 240V 高压直流供电系统》目前已处于报批阶段。

3.3 空调系统能耗分析 (ECRAC)

伴随着数据设备的大量能耗，还带来散热方面的难题。机房制冷的能耗非常大，由于服务器对高温非常敏感，因此机房必须配置大量的制冷设备。而制冷系统耗电量占数据中心总耗电量的 37%。数据中心制冷系统的主要节能途径包括制热负荷计算、送回风方式、空调设备能效比等方式，以及自然冷却等新型节能方式。数据中心热负荷包括数据中心机房内设备的散热、建筑围护结构的传热、太阳辐射热、人体散热散湿、照明设备散热等。因此需要对制冷系统的参数进行合理的设置，才能在保证数据中心安全运行的前提下降低制冷能耗。对空调设备回风温度值的设置，要符合机房内设备对环境温度要求的最低要求，要绝对避免因为机房温度的累计提高而导致的设备使用寿命的缩短。

数据中心应采用机房密闭护围、大空间、少隔断、适宜的空间容积、人机区域分离、区域集中监控等措施。根据数据中心所在外部环境，以及数据中心内各功能区域相邻布局的内部环境，合理计算保温隔热的热工参数，选择适宜的围护结构与材料。使用传热系数值小的绝热材料，减少围护结构四周的传热系数，达到较好的保温节能效果。对数据中心的业务机房，应当采用无窗密闭护围，减少进入室内的热辐射及热传导，这也是降低空调能耗的主要措施之一。

对空调设备的选择应考虑高能效比的空调设备。根据 GB/T19413-2010《计算机和数据处理机房用单元式空气调节机》中的要求，规定了空调设备最低能效比的要求，并且提出了全年综合能效比指标参数要求。在空调设备的使用中，尽量采用空调群控功能，避免多台空调由于工作在不同的状态造成的能源浪费。在合适的地区可以使用自然冷源对空调系统进行补充。例如，利用冬季气温较低的气候条件，通过盘管换热器为机房提供冷源，节省空调机组的用电量；将冬季室外冷空气经过处理后直接用于 IT 设备冷却，在冬季较寒冷地区具有较好的节能效果。需要加以注意的是，利用室外冷空气直接冷却的方式，要对数据机房的湿度及空气洁净度加以控制。

3.4 IT 设备的能耗分析

根据行业统计的数据和 Uptime Institute 在 2008 年做的统计，IT 设备的电力能耗占全部能耗的 50%。一个数据中心中成千上万个 IT 设备，每个都有不同的能耗特性。按设备功能分，我们可以将 IT 的能耗所占的 50% 再分解为以下 5 类设备的能耗：

1. 网络设备：5%

- 2. 数据存贮设备: 5%
- 3. 高端服务器/大型机 (high end server): 2%
- 4. 中档服务器/中型机 (mid-range server): 9%
- 5. 低端服务器/小型机 (volume server): 29%

3.4.1 服务器的能耗分析

服务器由于内部组件的构成不同，不仅价格上差别很大，单位能耗上也很不一样，从单台几百瓦的小型机到上万瓦的高端服务器。谷歌估计全球的服务器数量高达 2 千 7 百万，其中又以小型机的数量最多。一个服务器的寿命平均在 3 年到 5 年，以每年全球服务器供应商销售 7 千万台服务器计算，则各企业和数据中心中有 4 千万台服务器被淘汰。

服务器中，小型机的平均能耗为 219 瓦，中型机为 619 瓦，而大型机则为 7, 561 瓦，加权平均为 250 瓦/机。如以全年不间断运行（24*366=8784 小时）计算，则平均年一个服务器每年需用电 2, 196 千瓦时（度），如再计工业用电每度 0.81 元，则单机每年的电费预计为 1, 796 元。

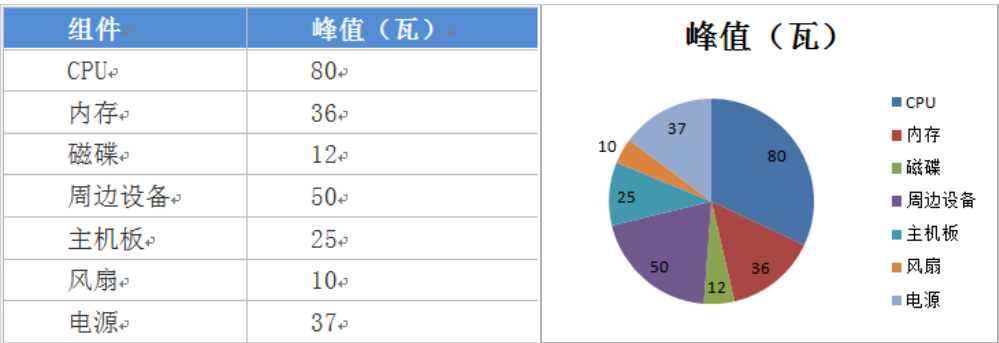


Figure 3.3: 服务器电力能耗分解示意图

使用高效低能耗的服务器是数据设备降耗的关键所在。Standard Performance Evaluation Corporation(SPEC) 是一个全球性的、权威的第三方应用性能测试组织，它制定了一系列的规范来评定服务器应用性能。可以根据 SPEC 的测试值评定服务器的效能/能耗，以此作为选购服务器的参考。另一个评定标准是能源之星的服务器标准，符合能源之星标准的服务器要比旧式服务器多出 30% 的能源效率。对于网络设备，可以使用 TEEER 值以及 ECR/EER 性能能耗比评估法进行节能分析。

3.5 数据中心的能耗效率值（PUE）

PUE 值是国际上比较通行的数据中心电力使用效率的衡量指标。

PUE 值 是指数据中心消耗的所有能源与 IT 负载消耗的能源之比。PUE 值越接近于 1，数据中心的能源效率越高。根据第节中的电力消耗构成，一个数据中心的 PUE 可以用下面的公式

计算：
$$PUE = \frac{ESIS+EITS+ETX+EHV+ELV+EF}{EITS-ECRAC-EUPS-ELV+ENet1}$$

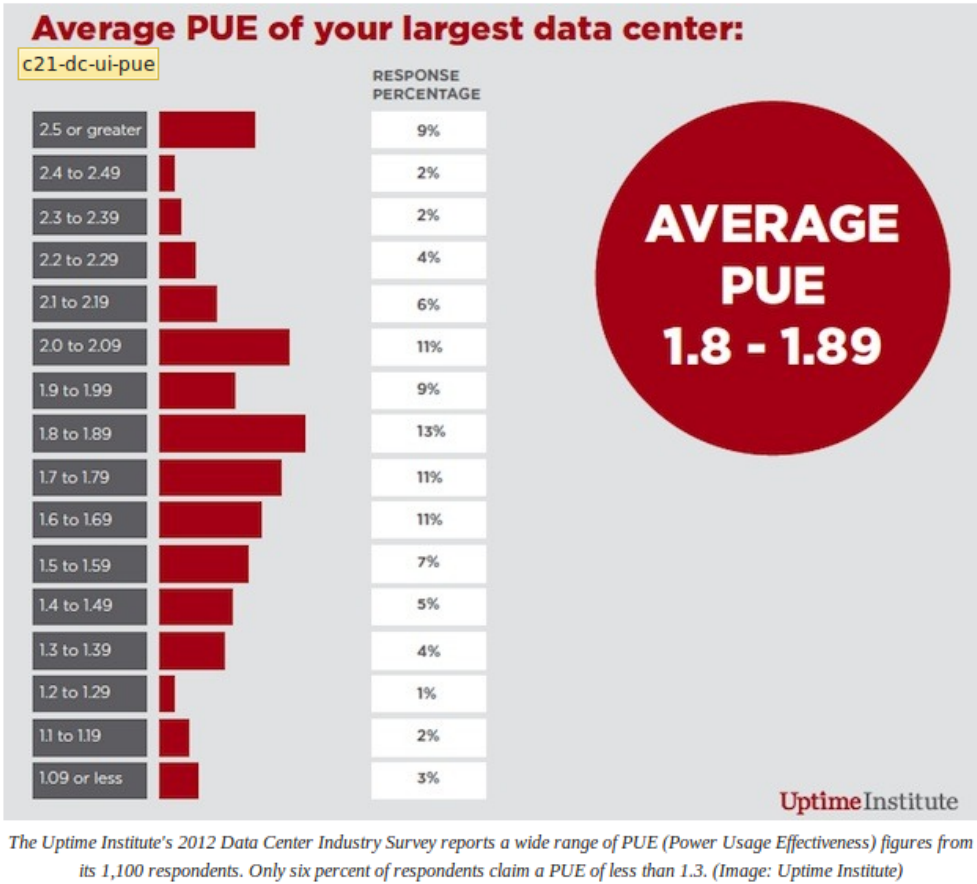


Figure 3.4: 2012 年美国 Uptime Institute 全美数据中心 PUE 值调查结果

Uptime Institute 于 2012 年对全美 1, 100 家数据中心和其运营主管所做的调查显示，目前美国的数据中心 PUE 平均值为 1.8-1.89。而其中，仍有高达 34% 的数据中心超过 2.0，技术不发达国家的数据中心的效率只会更低。网络巨头谷歌全球拥有 90 万台服务器，这些服务器不仅是它的业务基础，更是它运营成本的重头戏。谷歌在不断追求技术进步，优化自己的软硬件设施、降低能耗的同时，还自 2008 年起将自己的 PUE 值公布在网上。它最近一期的 2013 年第三季度 PUE 值号称达到 1.12（见图3.5），远远超过了美国的平均水平。其中，红线为前 12 月平均值，蓝线为当季实

际值。

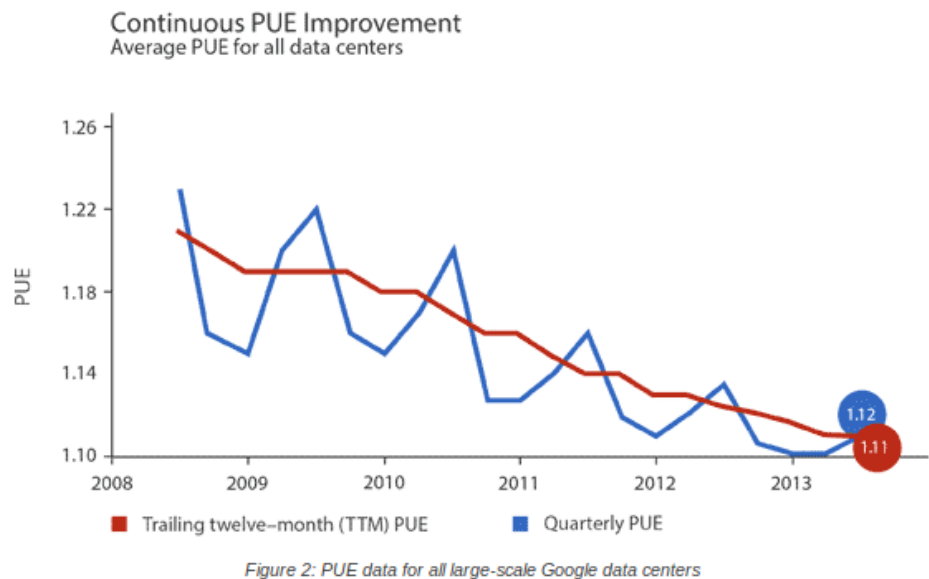


Figure 3.5: 2008-2013 年谷歌公司数据中心的能耗效率 PUE 值

3.6 成本分析建议

晋能集团的电力优势不仅体现在供电能力的充足，还体现在电价的明显优势。如以市场半价的电价估算（0.4 元/度），一台服务器每年的电费将从 1,800 元降为 900 元，5 千台服务器每年的电费就将节省 4 百 50 万，再计以中国 IDC 协会于 2012 年统计的平均 PUE 2.6 的能耗效率计算，则晋能的数据中心在每年的电费上将节省 1 千 1 百万以上。这里还没有计算晋能集团利用坑石发电所产生的环保效益和节能减排效益，所以晋能集团在电力资源上的特殊条件的确是构建和运营一个数据中心非常难得的优势，应该好好加以利用。

4

数据中心的生命周期成本 (TCO)

生命周期成本指一个数据中心从投资建设到最终淘汰的整个生命周期中的所有投入。一个数据中心的生命周期究竟有多长，目前行业没有一个统一的标准，一般认为数据中心的场地折旧期为 10 年。而主要 IT 设备如服务器的折旧周期则更短，仅为 3 到 5 年。另外，一个空置率高的数据中心和一个满负荷运行的数据中心的周期成本（TCO）显然也是不会一样的，美国能源机构 American Power Conversion(APC) 的调查显示数据中心的平均负载率仅为 30%，这意味这大量的服务器在空转，白白消耗着电力。

数据中心从投数据中心总拥有成本分为投资成本 (CAPEX) 以及运营成本 (OPEX) 两大块，投资成本指的是需要提前支出，并通过一段时间折旧消耗掉的，比如数据中心的建设成本以及服务器的采购成本等；而运营成本则指设备实际运行的每个月开销，比如电费、维修改造、现场人员工资等等，数据中心 TCO 大约可以通过下面这个等式表达：

$$\text{数据中心 TCO} = \text{数据中心折旧} + \text{数据中心运营成本} + \text{服务器折旧} + \text{服务器运营成}$$

本

如果将一个中心在整个生命周期的所有成本平均到一个机架，美国 APC 于 2003 年推算的一个机架的周期成本为 80 万人民币，即 8 万人民币一年，其中前期建设投入和后面的运营投入各占 50%。如果以现代数据中心的大容量、高密度等特性在这个基础上演绎，一个机架的生命周期成本 TCO 将远大于 8 万一年。

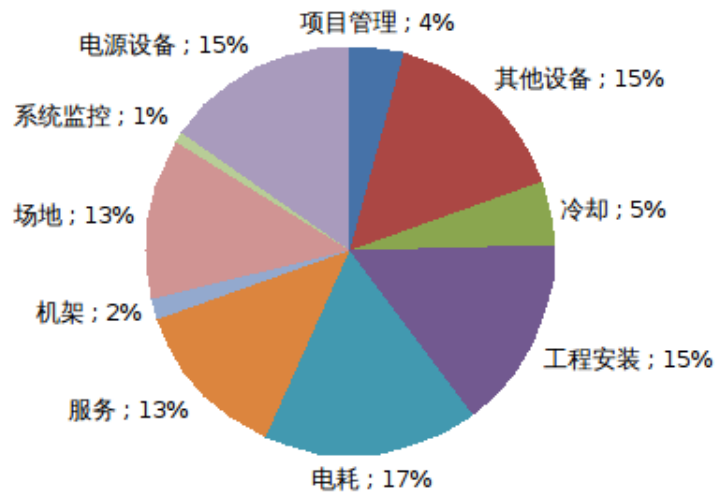


Figure 4.1: APC 估算的数据中心生命周期成本分解

APC 的 TCO 的推算假设:

- ❏ 数据中心电力指标 (Power Rating): 100 千瓦
- ❏ 供电密度 (Power Density): 450 瓦/平米
- ❏ 数据中心折旧: 10 年
- ❏ 单机架能耗: 1500 瓦
- ❏ 冗余度: 2N

4.1 TCO 数据模型建设成本 (CAPEX)

数据中心的建设成本差别很大，受不同等级设计、规模、地址、建设速度等条件影响很大。显然的，增加可靠性和冗余程度会使得数据中心成本增加。很小规模的数据中心或者很大规模的数据中心通常的每瓦建设成本也比较高，前者因为很多固定成本不能分摊到更多瓦数的负载上，而后者

因为大型的数据中心往往需要建设额外的基础设施，比如变电站等。根据经验，通常大型数据中心的每瓦造价大约在 54 元 -78 元之间，而小型数据中心的每瓦造价会更高。当然前面表格中提到的那些数值也不适合直接比较，因为很多项目范围并不一样，比如这些不同的项目可能部分包含了土地购买和楼宇建设的成本，而其他部分可能直接在已有的建筑中直接建设无需额外土地及建筑投资，因此单位造价肯定有所差异。

而对于大型数据中心而言，独立于建设规模外的部分固定成本相对于总投资而言占比较小，因此每瓦建设成本的比较就比较有意义了。因为数据中心建设的主要开销，比如供电、制冷和空间大小等几乎都随着负载功率直线增加，且通常情况下 80% 以上的建设投资都花费在供电和制冷上，而剩余的近 20% 都花费在机房建筑和园区配套建设上。

建设成本的差异也表现在冗余和可靠性方面，我们通常说的每瓦造价中的每瓦，指的是实际 IT 设备可用的 IT 关键负载功率。实际上很多报告很多时候并没有搞清楚 IT 关键负载的所指范围，比如一个数据中心有 20 兆的柴发，但采用了 2N 的柴发冗余配置，实际只带了 6 兆的关键 IT 负载，额外的 4 兆给了冷机等其他配套使用。这种情况下，如果这个数据中心投资了 7 亿，则其每瓦造价实际应改为 120 元，而非每瓦 36 元。此外，很多时候我们还会经常看到每平米造价的另外一种算法，但这种算法往往应用较少，因为很难界定到底哪些面积需要算在分母中，哪些面积又不能算入。而且机房面积往往和数据中心最大成本支出的 IT 关键负载之间没有非常明显的关系，因此数据中心行业的专家们很少采用每平米造价来评估机房建设成本。

每个月的初始建设投资折旧价格，则取决于投资折旧的总时间 (和数据中心的期望寿命有关) 以及商定的贷款率。通常的，数据中心多按 10-15 年来折旧。按照直线法折旧，资产价值按每个月固定的数额不断减少直至清零。比如，一个造价为每瓦 72 元的数据中心按 12 年折旧，那么折旧成本可按每瓦每个月 0.64 元计算。如果前期建设的时候采用贷款资金，且按贷款利率 8% 来算，那么相应的每个月还需要额外偿还贷款利率支出每瓦 0.3 元，这样数据中心每瓦每个月的总折旧成本为 0.94 元。通常利率高低会随着贷款时间长度变化，在美国，很多公司典型的数据中心贷款利率范围为 7-12%。

服务器的投资成本也是类似计算，只是服务器的寿命要短得多，通常只按 3-4 年完成折旧。为了归一化服务器和数据中心的投资成本，也有必要让服务器投资成本同样按每瓦价格来计算，分母通常采用服务器的实际峰值运行功率来计算。比如一台价格购买价格为 2 万元的服务器，实际的峰值

运行功率为 500 瓦，则每瓦支出为 0.64 元，按 4 年折旧，那么服务器的每个月购买成本为每瓦约 1 元。同样服务器的贷款利率按 8% 来计算，会有额外的每瓦 0.12 元的利率成本，因此服务器每个月的总折旧成本为每瓦 1.12 元。

4.2 TCO 数据模型运营成本（OPEX）

数据中心的运营成本很难折算，因为很大程度上取决于运营的标准，比如同一时刻有多少名安保人员在巡视，以及柴油发电机多长时间测试和保养一次，还有取决于数据中心的大小规模。比如大型数据中心的单位运营成本会更低些，因为很多固定成本会随着规模增加被折旧得很小。此外，运营成本还随着数据中心所处不同物理位置而发生变化，因为气候条件、税收高低、薪酬水平等也会影响运营成本，还有数据中心的设计标准以及已经使用的年限等也会影响运营成本。为了更为简单分析，我们将运行成本拆分成两大块，一块是安保和维护等每瓦每个月的日常开销，另外一块是每瓦每个月的电费。在美国，对于几个兆瓦规模的数据中心的每瓦每个月典型运营成本为 0.2 元到 0.65 元，这里不包含电费。

同样的，服务器也有运营成本，因为我们主要关注整个数据中心基础设施硬件的运行成本，所以主要关注服务器的硬件维护及更换，以及服务器的耗电费等。服务器的维护成本很大程度取决于服务器类型，以及服务响应等级，比如 4 小时内响应和 2 个工作日内响应的服务价格是完全不一样的。

此外，传统的 IT 运营，很大一部分运营成本花费在业务应用中，比如一些软件 license 以及系统管理员、数据库管理员、软件开发工程师等的工资成本，我们这里将这些费用刨除，因为这些费用在不同场景下差异会很大。此外，在一些小公司内部，由于只有几十台服务器，通常没有设置专门的系统管理员。如果真的设置了的话，那么单台服务器的管理成本就会比较高。很多公布的研究材料都想努力去量化服务器管理成本，但这些公开材料中大部分数据都是设备厂商为了宣传他们给到客户的产品和服务是经济高效的，因此这些材料中数据可信且中立客观的运营成本通常非常少。但是大型数据中心中，由于设备集中且管理高效，这样每个管理员可以管理更多的服务器，比如每个管理员可以管理高达 1,000 台以上规模的服务器，这样单位服务器的管理成本更为经济。

4.3 TCO 成本解析案例

数据中心最多的设备就是服务器。在 TCO 的成本中，服务器的选择无疑会对整个中心的投资运营成本带来影响。为了了解这个影响有多大，我们利用上面的 TCO 模型对三种不同的配置进行了比较：

1. 案例一：选用了高端服务器，购买价格高，峰值能耗低，同时配以较便宜的电价。并且，我们假设服务器满负荷工作。
2. 案例二：选用了低端服务器，购买价格低，但峰值耗电高于第一种，另外配置了相对较高的电价。服务器满负荷工作。
3. 案例三：在案例二的基础上，服务器负荷仅为 50%。

4.3.1 案例一：高端服务器 + 低电价 + 满负荷

首先我们看一个位于美国新建的典型几兆瓦规模 IT 负载数据中心 (大约是 Uptime Institute Tier 3 等级)，装满大量的机架式高端服务器产品，比如这里以 Dell 公司配置有 2 个 CPU、48G RAM 内存、四个硬盘的 PowerEdge R520 为例，其峰值功率大约为 340 瓦，2012 年的价格大约为 5 万元，剩下的一些变量参数选择如下：

- ☞ 2012 年美国工业电费平均价格为每度 0.4 元；
- ☞ 贷款利率按 8% 来估算，服务器按三年折旧；
- ☞ 数据中心基础设施按 12 年来折旧，每瓦造价按 65 元计算；
- ☞ 数据中心的非电费运营成本为每瓦每个月 0.25 元计算；
- ☞ 该数据中心的 PUE 按行业平均水平 1.8 来计算；
- ☞ 服务器寿命三年，每年服务器的维保费用为服务器价格的 5% 计算。
- ☞ 服务器的平均运行功耗为峰值功耗的 75% 估算。

服务器方面的支出占了 TCO 的大头，每月成本的大约 78% 都花在了服务器购买和维护中了。然而，采用低成本的标准商用服务器 (可能可靠性也会低些)，或者更高的电费价格，也可以大大改变这个 TCO 分布图中各子部分的比例。

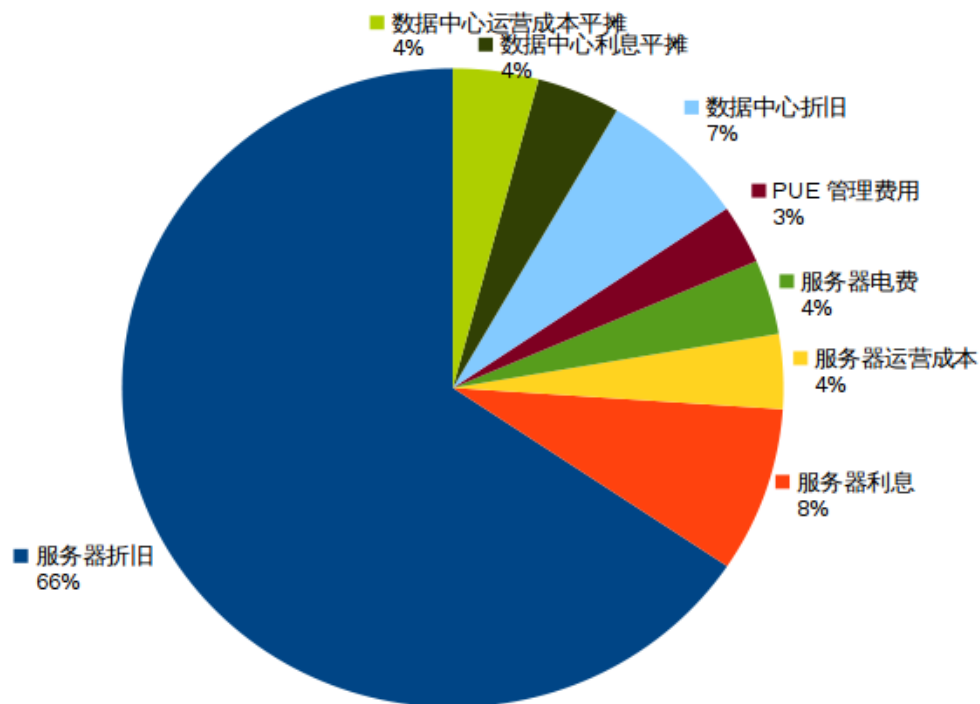


Figure 4.2: TCO 估算一：高端服务器 + 低电价 + 满负荷

4.3.2 案例二：低端服务器 + 高电价 + 满负荷

如果采用另一种服务器，价格便宜、运行更快、峰值功率高达 500 瓦，但价格却只有约 1 万 5 千元，然后假设数据中心选址在一个电价较高，每度电 0.6 元的地方。这样，数据中心相关的成本占比就升到了 39%，电费占比也升到了 26%，而服务器占比则降低到了只有 35%。换句话说，安放此类型服务器的托管成本构成中，数据中心基础设施和电费的总成本大约是服务器采购及维保总成本的两倍。

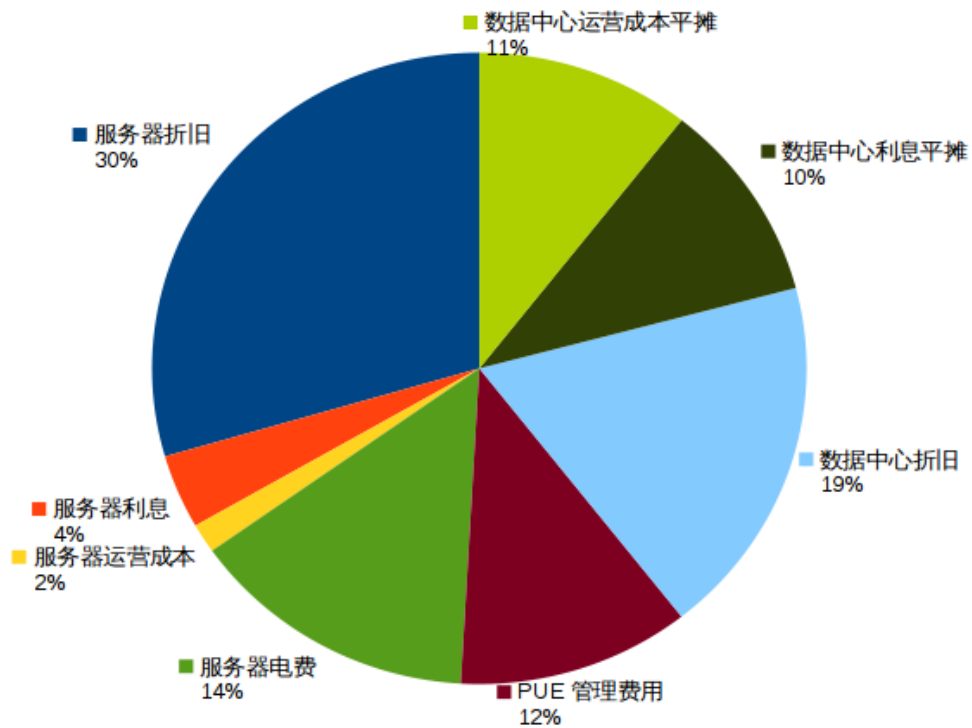


Figure 4.3: TCO 估算二：低端服务器 + 高电价 + 满负荷

需要注意到，即便电价更高以及服务器的功耗更高，案例二数据中心的 3 年总 TCO（4 万元）还是要低于第一种 3 年总 TCO(7 万元)，因为服务器的价格很低。另外，能耗相关的成本占比会增加且越来越重要，因为 CPU 的功耗 (以及性能) 在 1995 年到 2007 年的 12 年内增长了 8 倍，或者年均高达 19% 的增长，反之，低端服务器的销售价格则较为稳定，变化很小。这样，服务器硬件的每瓦价格在降低，而电价及建设成本却一直在增加，换句话说，在长远看来，数据中心的基础设施相关成本 (通常正比于服务器的数量和功耗) 会在 TCO 占比中越来越高。

4.3.3 案例三：低端服务器 + 高电价 + 半负荷

实际上，现实世界里的数据中心成本会都比前面模型中的成本更高，因为到目前为止，前面模型中的数据中心负荷都跑到了 100% 设计功率，以及服务器的 CPU 利用率也运行地非常满，但实际情况是现实生活中这些条件很难同时发生。比如，因为数据中心的建设需要较长的时间，所以你需要预留有部分机柜空间用于未来的业务部署需求，因此机房通常不会很快装满，基础设施也不会很快达到设计功率，可能有些数据中心需要长达一两年之后才能达到较高负载率。此外，服务器通常也不会跑满到峰值功率，比如峰值功率为 500 瓦的服务器，实际正常运行的功

率往往只有 300 瓦，这样服务器的运行功耗负载率只有 60% 左右，因此每台服务器每月的实际运行成本会比前面的模型中更高。总之，数据中心的负载率越低，那么相应的单位运行成本就越高。

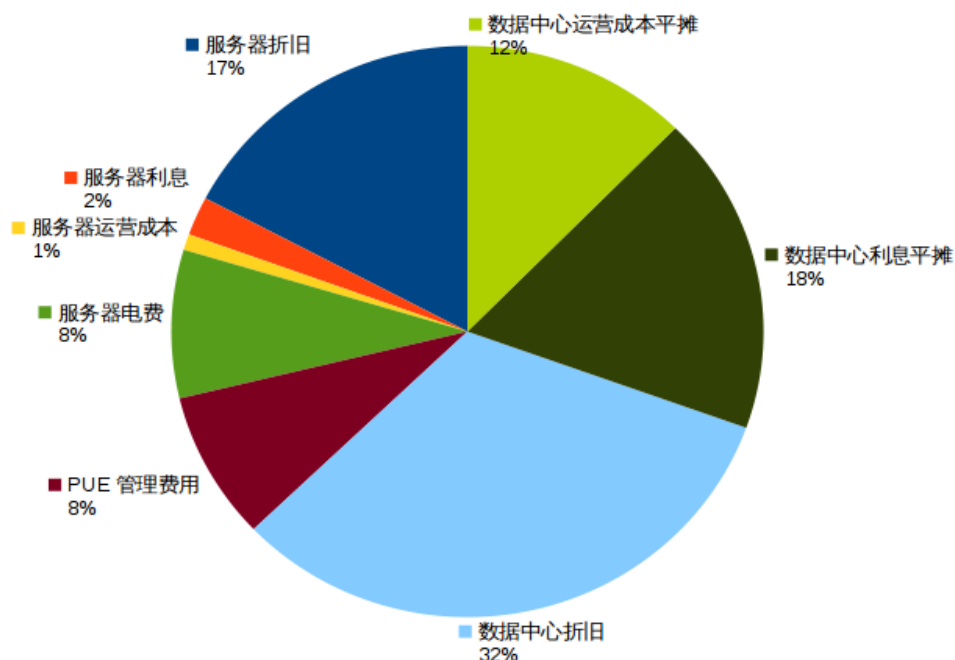


Figure 4.4: TCO 估算三：低端服务器 + 高电价 + 半负荷

因此提升数据中心的负载率可以降低单位服务器的运行成本，但是提升负载率却并不像看起来那么简单，因为设备厂家给出的设备功耗需要考虑 100% 的 CPU 利用率情况，但如果实际运行的 CPU 利用率只有 30%(比如某台峰值为 300 瓦的服务器在 30% 的 CPU 利用率下实际运行负载只有 200 瓦)，考虑 PUE 等因素，数据中心的可用容量有大约 30% 左右被搁置。或者反过来，假如我们设计机房的时候按 200 瓦服务器的实际运行功耗来设计，但如果在月底的某个繁忙时间，CPU 利用率短时间跑满到 300 瓦，这个时候数据中心内部就可能会发生过热风险，或者会触发配电空开跳闸。类似的，如果为了满足业务的变化需求，在新上架的服务器中需要增加部分内存或者硬盘等来提升性能，这样设备功耗增加了，但机房却无法提供更多的额外电力。因此实际建设中，数据中心会预留部分的空间和电力用于满足这些设备变化和峰值负载冲击。通常预留范围可能从 20% 到 50%，这意味着现实生活中的数据中心很少运行到其设计额定功率，比如可容纳 10 兆瓦关键负荷的数据中心在较长一段时间内实际负载往往只有 4-6 兆瓦的运行负荷。

对于部分负载数据中心的 TCO 建模，我们通过空置率来调整数据中心成本模型中各子项的占比。比如，一个有三分之一空置率的数据中心，其数据中心相关 OPEX 运行成本会增加 50%，比如前面案例二中的数据中心，如果有 50% 的机柜空置率，那么数据中心相关的成本会占主要部分，而只有 25% 的成本在服务器侧。考虑到前面提到的数据中心未来扩容预留，这个数字并不夸张。因此，提高数据中心的使用效率，比如通过峰值限功率封顶等技术，可以大大节省数据中心的实际运行成本。对于一个采购成本为 2000 美金的普通服务器而言，如果数据中心运行在满负载利用率底下的单台服务器 TCO 为 4 万元，而一半负载利用率情况下则单台服务器的 TCO 则高达 5.6 万元。

服务器 CPU 利用率非满载运行也正面会影响数据中心运营成本，因为服务器的实际运行功耗减少了。但是，这种节省是值得挑战的，因为减少这些服务器上运行的应用也很可能相应产生更少的应用价值，目前我们的 TCO 模型还无法覆盖到这些方面。因为前面提到的 TCO 都是只针对物理意义上的基础设施，而不包括运行在这些硬件上的软层面应用。为了测量这种端到端的性能，我们可以通过应用层面的价值来作为基准，比如完成多少量的银行交易，或者支撑多少的网络搜索能力等，再除以 TCO 来衡量。打个比方，比如我们有一个每个月花费 1 百万的数据中心，每个月可以完成 1 个亿的交易量，那么每个交易的成本是 1 分。但如果发生交易拥塞 (但基础设施仍可以支撑 1 个亿的交易量)，当月只完成 5000 万笔交易，那么每笔交易的成本则变成了 2 分。因此前面我们只分析了硬件层面基础设施的利用率，但需要时刻注意，软件性能以及服务器利用率也同样非常关键。

5

总结

以上我们就数据中心的规模、设计建设标准、运营成本、能耗构成、地域分布、生命周期成本等做了系统的介绍与分析。数据中心作为高科技的集成地，不仅需要大量的土地、资金用以建设工作，而且从选址到定级（T1-T4）、从基建到维护运营都需要专业人才和系统考量。数据中心的电力能耗量大，密度高，对配送电、冗余、散热等都有较高的要求；这些也是运营成本和中心整个生命周期成本中最举足轻重的项目。

晋能集团丰富的电力供给为建设大型数据中心提供了电力成本保障，而完整的建设成本方案还需从选址、机房架构、基础建设、设备选择等多方面进行考量。对此我们大体总结如下：

- ✎ 选址方面：数据中心总体架构布局决定了大的地理位置，气候环境决定了机房散热所采取的解决方案。
- ✎ 能源供应方面：晋能完全可以依托其充足、廉价、可靠的能源供应。
- ✎ 机房架构方面：结构的模块化应是基本的设计理念之一，其架构模块化设计起码应考虑 15

年的扩容及升级需求。

- ❏ 基础建设方面：传统的办公楼式肯定是过时的设计；我们需要从内部布局结构、承重、防雷接地、消防、围护结构、材料性能和安全的角度去评估基础建设的合理性与可行性。
- ❏ 建造费用：主要是土地成本、基建成本和设备成本，这和选择的数据中心地址有直接关系。
- ❏ 运营成本：除了人力成本外，设备能耗和散热能耗是主要的成本。因而在设计时应优先选择低能耗的设备及低能耗散热的解决方案。
- ❏ 生命周期成本：服务器的选型和负荷率都是影响生命周期成本的要素。低端、耗电的服务器生命周期成本相对较低，所以应是选择的主要方向。
- ❏ 最后，建设数据中心，任何一项工作都需要深入的专业知识和技能，人才的培养和储备是晋能集团建设数据中心的必经之路。

晋能集团的数据中心构想恰恰立足于它丰富的电力供给和较低的电力成本，配合其他资源的优势，不仅为建设一个 T2 和 T3 级的企业级数据中心（5000 台以上服务器）提供了难得的基础和机遇，而且将大大增强山西省数据中心的规模、数量和质量。



附录一：2012 年全国数据中心统计

2012 年”中国 IDC 圈”对全国数据中心进行的调查统计，包括联通、电信、移动三大电信运营商的数据中心和少数第三方数据中心。在此基础上，我们又添加了数据中心的规模、占地面积、投资额等数据，并对各省的数据中心数量和平均面积进行了计算。虽然数据不完整，但由此亦可看出国内 IDC 市场的基本现状。

地区	服务商	明细	规模级别	占地面积 (平方米)	机架数	投资 (万元)	数据中心个数	占地面积平均值 (平方米)
北京	中国联通	硅谷亮城IDC机房		747	231	25,000	61	3,179
		北京酒仙桥IDC	(四星级)	4,000	1,199			
		北京市联通鲁谷数据中心	(五星级)	26,000	3,000			
		北京联通回龙观电话局数据中心	(三星级)	423				
		北京联通中关村1+1大厦数据中心	(三星级)	250				
		数字北京大厦IDC	(五星级)	2,800	1,028			
		北京顺义区林河联通数据中心	(三星级)	1,250				
		北京亦庄电话局IDC	(四星级)	1,000	411			
		北京西三旗电话局IDC	(四星级)	765	156			
		北京西红门电话局IDC	(四星级)	1,868	350			
		北京石景山电话局IDC	(四星级)	630	242			
		北京上地电话局IDC	(四星级)	900	321			
		北京南苑电话局IDC	(四星级)	1,210	450			
		北京广内电话局IDC	(四星级)	460	145			
		北京东四电话局IDC	(四星级)	700	264			
		北京联通京门大厦多线机房	(四星级)	2,000	352			
		北京五棵松联通机房						
		北京北苑电话局数据中心	(三星级以下)	495	196			
		北京联通长途电话局机房		1,200	300			
		北京皂君庙IDC	(五星级)	3,860	647			
		北京土城IDC	(五星级)	9,000	2,574			
		北京联通三元桥数据中心	(五星级)	380	155			
		北京联通电报大楼数据中心	(五星级)	2,600	887			
		北京分公司亦庄国际IDC	(五星级)	5,340	1,870			
		北京联通方庄机房						
		北京定福庄电话局IDC	(四星级)	1,000	300			
	中国电信	北京电信上地机房		1,500	300			
		中国电信酒仙桥双线机房						
		中国电信静安里机房		4,200				
		中国电信西二旗机房		1,200				
		263数据港机房		2,000				
	第三方	企商在线华威桥数据中心						
		企商在线广渠门数据中心		2,800				
		北京电信通雍和宫机房		3,750	400			
		北京光环新网酒仙桥机房	(T4标准)	4,939	906	20,000		
		北京鹏博士数据酒仙桥 (NGDC) 机房		30,000	6,000			
		北京鹏博士数据中关村机房		3,000	360			
		北京鹏博士数据苏州桥机房		3,000	400			
		数字化机房		3,000		2,000		
		中关村软件园数据中心	(五星级)	1,000	240	2,000		
		中关村硅谷机房	(三星级)	1,000	2,000	1,000		
		网联无限IDC数据中心		3,500	800			
		北京鹏博士数据惠普大厦IDC机房		3,000				
		北京电信通三元大厦IDC机房		3,500				
		北京总部基地IDC机房		1,000				
		北京通管网联马连道IDC机房		2,600	500			
		北京中央电视台双线机房		1,500	190			
		北京国研双线机房		1,000				
		北京鼓楼双线接入机房						
		北京石景山科技馆双线机房		1,000				
		北京铜牛四线机房		1,200	200			
		光环新网东直门IDC数据中心		3,000	806	6,000		
		歌华多媒体数据中心 (MDC)		1,500	260			
		中电华通工体机房		3,000	700			
		企商在线京西数据中心		1,000	300			
		网宿科技北京国门机房		800	100			
		TELEHOUSE BEIJING		2,500	3,000			

地区	服务商	明细	规模级别	占地面积 (平方米)	机架数	投资 (万元)	数据中心个数	占地面积平均值 (平方米)
		北京中联讯通数据中心		500				
		北京中关村软件园双线机房		6,000	1,500	6,000		
		北京长城IDC数据中心机房						
	中国移动	天津空港移动机房		8,000	700			
广东	中国联通	中山联通长江北路联通大厦IDC机房		1,100	400		36	4,404
		中国联通深南花园IDC	(四星级)	2,470	300			
		中国联通广州太阳广场IDC		6,000	1,000			
		广东茂名联通邮运楼IDC机房	(五星级)	500	152			
		中国联通广州科学城IDC		4,200	1,600			
		广东佛山联通数据中心机房		1,400	340	8,000		
	中国电信	中国电信潮州分公司IDC机房		800				
		广东电信茂名IDC机房		3,000	600			
		深圳电信龙岗枢纽IDC机房	(五星级)	3,000	600			
		广东电信东莞东城枫桦园IDC机房	(五星级)	3,000	600			
		深圳鸿波电信机房		1,500	400			
		惠州电信互联网数据中心		1,000	120			
		梅州电信数据中心		500				
		东莞莞福路电信IDC数据中心						
		湛江电信开发区IDC机房	(四星级)	1,000	179			
		东莞电信东城IDC互联港湾		7,000	640	7,000		
		佛山信息大厦IDC机房		1,000	179			
		深圳维用双线机房		1,400	500	500		
		湛江电信遂溪IDC机房	(四星级)	3,000	800	10,000		
		中国电信汕头互联网数据中心机房		2,800				
		中国电信深圳互联网数据中心机房		5,000				
		东莞电信道滘IDC互联港湾		3,000	380	3,000		
		中国电信广州互联网数据中心机房		3,000				
		中国电信樟木头电信机房		6,000	1,200	300,000		
	中国移动	中国移动南方基地机房		26,124	1,212			
	第三方	新一代数据中心广州科学城BGP机房	(五星级)	5,000	2,000	20,000		
		中通信息维用机房	(五星级)	2,000	500	3,000		
		新一代数据中心广州国际银行中心机房		3,000	660			
		现代数据中心		600	300	800		
		润迅通信集团数据中心		2,000				
		广州信息港机房		3,000	2,000			
		中山火炬机房		5,000	500	5,000		
		广东宏达通信机房		4,000	9,000	30,000		
		GDS深圳福田数据中心		5,255				
		夏龙通信福田数据中心	(五星级)	36,000	6,000	50,000		
		恒汇通信梅花园机房		500	100	3,000		
上海	中国联通	中国联通上海漕河泾IDC机房	(五星级)	5,500	1,540		29	5,103
		中国联通上海乐凯机房		18,064	807	20,000		
	中国电信	上海南外滩五星级双线数据中心	(五星级)	2,000	350	8,000		
		上海电信呼玛数据中心		3,000	500	4,000		
		上海电信全华机房		2,000	250			
		上海电信张东机房		1,000				
		上海电信福山路机房						
		上海电信陆家嘴IDC机房						
		上海沈家弄电信机房		1,000	250			
		中国电信信息园区南汇机房						
		上海电信北艾机房		500	260			
		上海长信真如机房		700				
		上海长信漕宝路机房						
		上海电信复华机房						
		上海电信漕溪机房		10,000				
		上海热线信息大楼机房						
		上海电信数据中心国立机房						

地区	服务商	明细	规模级别	占地面积 (平方米)	机架数	投资 (万元)	数据中心个数	占地面积平均值 (平方米)
		上海电信数据中心云莲机房		3,650			23	2,745
		上海数据中心海宁机房						
		上海热线张江机房		1,200				
		上海热线外高桥机房		3,650				
		上海长信横浜桥机房						
		上海电信武胜路机房		10,000				
	第三方	鹏博士上海数据港机房		10,000	2,000	50,000		
		上海科技网机房		1,200	300	6,882		
		GDS上海外高桥旗舰数据中心		24,000				
		上海国定数据中心	(四星级)	3,000	600	7,200		
	中国移动	上海移动怒江IDC机房		1,000	300			
		上海移动浦东IDC机房		600	82			
江苏	中国联通	江苏联通丹凤街机房	(四星级)	1,000	200		23	2,745
		江苏联通金陵小区机房		300	120			
	中国电信	扬州电信数据中国数据中心		2,000				
		苏州电信南施街 IDC机房	(四星级)	1,500	380			
		常熟电信长江路IDC机房		600	150			
		张家港电信青年路局IDC机房		500	100			
		昆山电信前进局IDC机房		400	78			
		太仓电信IDC新华街机房		500	120			
		江苏镇江电信数据中心		1,000				
		中国电信杭州兴议IDC中心	(五星级)	9,500	1,450			
		常州电信清凉路机房	(四星级)	1,056				
		常州电信勤业路机房	(三星级)	500	120			
		常州电信昆仑路机房	(三星级)	600	150			
		常州电信后阳街机房	(二星级)	400	80			
		泰州电信姜堰南郊IDC机房(多线机房)	(多线机房)	5,000	400	5,800		
		南京电信游府西街数据中心机房		2,600	640			
		南京电信苜蓿园数据中心机房		1,680	500			
		南京电信龙江数据中心机房		2,000	490			
		江苏南通电信机房		2,000	200	2,000		
	第三方	汉云·绿色云数据中心		2,500	300	25,000		
		GDS昆山花桥数据中心		24,000				
	中国移动	亿恩江苏电信镇江机房	(四星级)	2,000	400	6,500		
		江苏南京移动IDC机房		1,500				
浙江	中国联通	宁波联通双线机房		3,000	200		21	2,633
		浙江金华联通机房		2,000	150			
		中国联通浙江宁波软件学院IDC	(四星级)	1,200	500	2,000		
		浙江湖州双线联通机房		3,000	300			
		浙江太湖IDC机房		2,000	340			
	中国电信	丽水水阁机房	(三星级)	1,500	300			
		温州数据中心电信机房		1,200	400			
		浙江宁波电信IDC机房		200	600			
		绍兴电信IDC数据中心		1,000	300			
		浙江嘉兴电信IDC机房	(三星级)	2,000	500	5,000		
		湖州电信机房		2,000	500	5,000		
		杭州九堡机房	(三星级)	1,000	120	1,000		
		台州椒江机房	(三星级)	1,500	3,000			
	第三方	杭州世导双线路机房		2,000				
		杭州世导未来科技城机房		10,000	2,600	15,000		
		MDC世纪城数据中心		2,000	600	2,000		
		MDC福地数据中心		1,045	300	1,200		
		下沙IDC机房		11,800	1,500			
		浙江海瑞数据中心	(四星级)	3,000	650	12,000		
	中国移动	宁波移动IDC机房		850	165	12,000		
		浙江移动杭州三墩西湖科技园IDC机房		3,000	1,000			
		中国联通山东省聊城建设路IDC机房		790	260			

地区	服务商	明细	规模级别	占地面积 (平方米)	机架数	投资 (万元)	数据中心个数	占地面积平均值 (平方米)
山东	中国联通	济南联通云计算中心		16,000	3,000	17,000	19	3,677
		青岛市李沧IDC机房	(五星级)	600	217	3,000		
		中国联通济南二枢纽IDC	(四星级)	2,000	600	5,000		
		山东威海联通IDC机房						
		山东青岛联通香港西路机房		1,000				
		山东泰安联通机房						
		山东联通青岛第二枢纽VIP机房		1,000				
		中国联通山东济南担山屯IDC	(五星级)	4,500	458	7,000		
		山东潍坊联通IDC数据中心	(五星级)	3,000	600			
		山东省滨州联通数据中心机房		300	75	1,000		
		中国联通青岛秦岭路IDC	(四星级)	2,000	503	7,000		
		中国联通山东青岛二枢纽IDC	(五星级)	3,030	1,460	15,000		
		中国联通山东烟台联通开发区IDC机房		800	180	1,300		
		中国联通山东济宁市分公司IDC机房		700	180			
		中国联通山东青岛崂山IDC机房	(五星级)	21,313	3,500			
	中国电信	山东淄博电信IDC机房						
		山东电信IDC机房		600	120			
	第三方	济南企联西门IDC数据中心		1,200	96	2,500		
四川	中国联通	中国联通国家数据中心四川成都IDC	(四星级)	1,000	200	1,000	11	5,620
	中国电信	四川成都第二枢纽中心机房	(五星级)	6,000				
		四川省电信莲花枢纽机房		2,000				
		绵阳电信数据机房		500				
		西昌数据中心电信机房		6,000				
		天府热线泸州数据中心		2,000				
		四川电信天府热线数据中心科技城机房						
		四川电信天府热线数据中心德阳机房		6,000				
		四川电信天府热线数据中心第二枢纽中心机房		6,000	660			
	第三方	中立数据成都温江机房		3,000	650	12,000		
		GDS成都数据中心		23,700				
河南	中国联通	河南安阳互联网数据中心	(三星级以下)	400	100		11	2,710
		中国联通开封IDC机房		2,000				
		中国联通河南郑州二长枢纽IDC	(四星级)	3,600	1,000	5,000		
		河南联通洛阳机房	(四星级)	1,000	500	5,000		
		河南省许昌联通机房		1,000	400			
	中国电信	河南电信枢纽IDC机房						
	第三方	河南省通信产业园机房		6,600	1,000			
		郑州景安互联网数据中心		1,000	200	1,000		
		河南洛阳开发区BGP机房		500	200	1,000		
		亿恩科技郑州云数据中心	(四星级)	10,000	500	6,500		
安徽	中国联通	安徽联通滨湖数据中心		1,200	480		10	1,805
		安徽省铜陵电信数据中心机房		1,000				
		芜湖电信IDC数据中心机房						
		合肥电信IDC数据中心						
		安徽省电信数据中心机房		5,000	600	3,000		
		合肥电信创新大厦机房		380	120			
	第三方	安徽信维安徽巢湖双线精品机房		300	60			
		安徽信维合肥云计算数据中心		560	240			
		中网科技安徽双线机房		2,000	300	3,000		
江西	中国电信	合肥城市云数据中心机房	(国家A级)	4,000	500		9	1,325
		江西赣州电信机房		2,000	200	8,000		
		南昌电信数据中国数据中心		2,000	400			
		江西电信景德镇IDC机房		500	100			
		江西电信南昌IDC机房	(三星级)	200	500	500		
		湖北省黄冈市电信分公司IDC机房	(三星级)	300	100			
		江西九江电信机房						
		江西南昌第二长途电信枢纽IDC机房	(四星级)	1,600		3,000		

地区	服务商	明细	规模级别	占地面积 (平方米)	机架数	投资 (万元)	数据中心个数	占地面积平均值 (平方米)
	第三方	亿恩江西电信南昌红谷数据中心	(四星级)	2,000	400	6,500		
		亿恩科技九江双线机房	(四星级)	2,000	500	6,500		
福建	中国联通	厦门联通软件园IDC机房	(三星级)	600	160		9	3,050
		福建联通泉州南安数据中心	(三星级)	3,600	200			
	中国电信	福州电信马尾数据中心		1,800	600			
		厦门电信江头机房		1,000	210			
		福建漳州电信数据中心机房		2,000	300			
		福建福州电信IDC机房		2,400	360			
		泉州电信院前数据中心	(四星级)	3,000	1,000			
		福建厦门软件园二期数据中心	(五星级)	10,000	2,000			
	第三方	厦门中电华通BGP三线机房						
河北	中国联通	邯郸二枢纽IDC机房	(三星级以下)	100	41		8	1,560
		中国联通石家庄二枢纽IDC	(四星级)	3,500	630			
		河北唐山联通机房		1,100				
		河北省联通公司廊坊IDC数据中心		1,120	234			
	中国电信	中国电信国家干线唐山节点IDC机房		4,000	1,000			
	中国移动	保定3G测试点机房						
	第三方	企商在线京东数据中心		800	300	500		
黑龙江	中国联通	双峰互联网数据中心	(四星级)	300	200	2,500	7	8,729
		哈尔滨市第二枢纽数据中心	(五星级)	5,000	600			
	中国电信	哈尔滨市湘江路数据中心	(四星级)	5,500	1,000			
		黑龙江省电信数据中心机房		1,000	350			
	第三方	锦都DC蓝天数据大厦机房		2,000	400			
		黑龙江省佳木斯市静安中心IDC机房		400				
		易联数据中心		4,000	400	1,000		
辽宁	中国联通	国裕绿色金融数据中心	(国家A级)	43,200	1,600	30,000	6	5,025
		中国联通营口IDC机房						
		中国联通大连软件园IDC	(四星级)	1,500	384			
	中国电信	中国联通沈阳滑翔IDC	(四星级)	1,000	344			
		黄冈idc三星级机房				1,000		
		中国电信（大连）数据中心		1,600	550	5,000		
	第三方	亿达名气通数据机房		16,000	2,400	20,000		
湖北	中国电信	中国电信湖北分公司十堰IDC机房	(三星级)	300	140	800	5	1,260
		武汉电信光谷数据中心机房		3,600	2,000			
		武汉电信南院数据中心机房		1,000	300			
		武汉电信鲁巷数据中心机房		900	300			
		中国电信鄂州分公司IDC机房	(四星级)	500	150	1,800		
陕西	中国联通	中国联通陕西西安IDC	(四星级)	1,100	200		4	3,025
	中国电信	中国电信鄂州分公司IDC机房西安航天数据中心		1,000	200	3,000		
		陕西西安西部数据中心		5,000				
	第三方	陕西正龙科技IDC机房		5,000	2,000	3,000		
吉林	中国联通	中国联通国家数据中心长春二枢纽IDC	(四星级)	1,500	250	3,000	3	1,333
		延边联通数据中心	(三星级)	500	500	3,000		
	中国电信	吉林电信枢纽机房		2,000				
重庆	中国电信	重庆电信五里店机房		300	500		3	1,150
		重庆新牌坊IDC机房						
	中国移动	中国移动重庆互联网数据中心机房		2,000				
山西	中国联通	中国联通大同市分公司IDC业务机房		500	100		2	750
		山西联通太原第二枢纽IDC机房		1,000	249			
湖南	中国电信	长沙电信数据中国数据中心					2	1,000
		湖南株洲电信数据中心		2,000	420			
甘肃	中国电信	中国电信甘肃互联网数据中心	(四星级)	2,500	550		1	2,500
内蒙	中国联通	中国联通内蒙古自治区IDC	(四星级)	5,000	1,000	5,000	1	5,000
海南	中国电信	海南省海口市南海大道数据中心		500	150		1	500
云南	中国电信	昆明电信72局机IDC机房		1,700	134		1	2,700
贵州	中国电信	贵州电信第二枢纽IDC机房					1	
广西	中国电信	广西电信IDC机房	(四星级)				1	