

浅析数据中心不间断电源系统分期部署

对于整体可用性要求较高的数据中心来说，不间断电源系统（UPS）是其配电系统中的关键一环。由于数据中心IT设备的投产并不是一蹴而就，而是逐步进行设备上架，在这过程中，可能使配电系统中大容量UPS利用率较低，造成较大的浪费。从提高UPS利用率的角度，对UPS系统分期部署进行了分析和研究。

王大晓/招商银行数据中心

陈奕欣/广东工业大学物理与光电工程学院

0 引言

国内大型数据中心的建设如火如荼地进行着，对于数据中心的配电架构、制冷模式和节能等方面，各企业也都在进行不同的探索和尝试。随着信息技术的发展，目前的数据中心单机柜功率密度已经由之前的1~3 kV·A/Rack提高到4~6 kV·A/Rack，未来的趋势可能是向着更高的功率密度发展。且近些年随着微模块技术的成熟和产品的推广，单机柜功率达到10 kW、20 kW甚至35 kW已成为现实^[1-2]。高功率密度化带来了各种好处，同时也为数据中心的设计、建设和运维带来了挑战^[3-5]。综合考虑高功率密度化所带来的产品成本、运维成本和可靠性等因素，金融行业数据中心依旧主要采用4~6 kV·A/Cabinet功率密度进行数据中心的设计。金融行业数据中心配电系统目前主要采用不间断电源系统（UPS）的2N或者2(N+1)模式，也基本遵循小机房根据其负载情况选用小容量UPS，大机房模块根据其负载情况选用大容量UPS。大中型数据中心为了保障机房模块内IT负载的投产，其UPS系统往往选择大容量UPS，并一次性将配套

强电缆和配电开关部署到位。对于大批量IT设备能够尽快投入使用的机房模块而言，大容量的UPS系统则是较好的选择。但是对于某些机房模块，按照规划，需要分期进行IT设备投产，这对于大容量UPS而言，其负载率将长期维持在较低的水平，这是对机房资源的一种浪费。

当然，目前也有设备厂家针对传统大容量UPS长期负载率较低提出了一种解决方案^[6]，模块化UPS能够在建设初期预留相应的空间，将UPS模块随着负载的增加而逐步投入。这样能够保证UPS维持在较高的利用率，一定程度上避免了UPS资源的浪费。但是对于金融行业而言，模块化UPS的安全可靠性和维护便利性尚需进一步的验证。一段时间内，中小型金融数据中心可能会小批量使用模块化UPS，大批量的应用尚需时间。对于各厂商主推的微模块机房解决方案，金融数据中心尚处于接触和技术预研阶段，在确定其运行可靠性之前，也仅进行小批量试验。目前高可靠性要求的数据中心UPS系统主要采用2N和2(N+1)的架构，由于设备的分期投产，导致UPS系统的负载率长期处于较低的水平。为此，如何在保障数据中心安全运行的情况下提高UPS的利用率是数据中心机房设计建设和运维人员思考问题。

本文针对金融数据中心如何更高效地利用UPS系统，并可靠性地提高UPS系统负载率进行了分析。结合金融数据中心部分大容量UPS系统利用率的情况，分析对比了大容量UPS系统部署方案和



王大晓/工程师

关键词/Keywords

数据中心·
UPS·
分期部署·
设计·
运维·

分期部署小容量UPS系统在设计 and 后期运维中的利弊，以便于为将来同业数据中心分期规划设计提供一定的参考。

1 数据中心常用UPS系统架构

1.1 UPS系统架构

目前国内数据中心主要参考GB 50174^[7]和Uptime的Tier等级标准进行规划设计，其中对于UPS系统架构，主要有基本满足需求型（也称 N 型）、冗余型（也称 $N+X$ 型）和容错型（也称 $2N$ 型）3种。其中对数据中心可靠性要求较高的企业一般采用 $2N$ 型，近些年为了进一步提高数据中心的可用性，容错型还延伸出了 $2(N+1)$ 型架构。以下简单介绍 $2N$ 和 $2(N+1)$ 型UPS架构。

某数据中心单个机房模块设计容量为800 kV·A，以单机容量为400 kV·A的UPS主机为例，若机房模块采用 $2N$ 架构UPS系统，则需要配备4台400 kV·A的UPS，若采用 $2(N+1)$ 架构，则需要配备6台400 kV·A的UPS。UPS常见 $2N$ 或 $2(N+1)$ 架构如图1和图2所示。若柴油发电机为中压，则ATS前端架构不同。

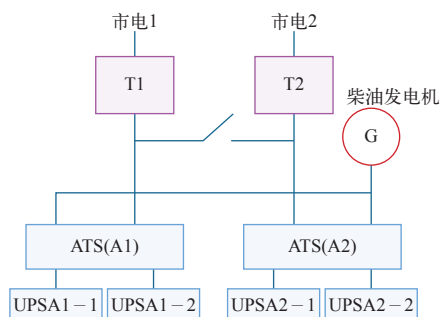


图1 UPS系统架构一

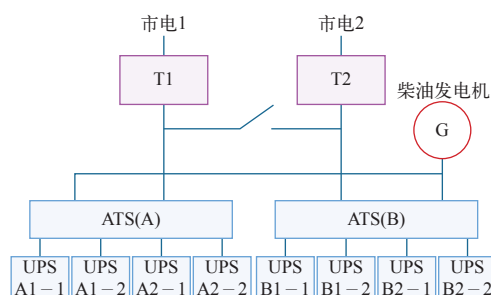


图2 UPS系统架构二

本文将200 kV·A及以下额定容量的UPS称为小容量UPS，将200 kV·A以上额定容量的UPS称为大容量UPS。

1.2 当前大容量UPS的利用率

目前，国内大型数据中心设计和建设中呈现的趋势是，每层楼部署变压器，就近为各楼层机房模块供电，每个机房模块占地面积约300~500 m²，同时，每个机房模块的UPS系统配置在机房模块周边区域，图3为一种典型的机房模块布局方式，机房精密空调器对称分布，精密空调配电系统加装ATS，并来自不同的变压器。根据现场条件，精密空调器可采用水冷+风冷模式，或者采用不同路由的水冷模式，又或者每台空调器均采用双冷源的模式。数据中心机房模块IT负载的电源由两路市电经过两套UPS提供。



图3 机房布局

目前数据中心机房模块在设计之初即根据机房负载计算值配备大容量UPS，而一般数据中心的设计使用寿命是10~15年，甚至是20年。此外，在设计使用寿命周期内，数据中心根据其功能区域划分或者租售情况（供租赁的数据中心），数据中心机房模块很难在短时间内满负荷运行。换言之，即使机房模块已布满机柜，所有设备均投入使用，由于计算负荷与实际运行负荷存在一定的差异，UPS的利用率往往难以达到理想的理想数值。下表为部分数据中心UPS基本信息。除EUPS刚运行4个月外，其余UPS均已投产4年以上，UPS最大负载值按每套UPS设计容量的80%进行计算。此外，每台UPS的负载率如图4所示。

UPS负载率在80%左右能够达到较为理想的效率，此外也是为了防止在2N架构中，其中一组UPS宕机时，若UPS负载率过高将拖垮另一组UPS。

表 UPS系统信息表

UPS组编号	数量/台	单机容量/kV·A	架构	最大负载值/kW
AUPS	4	600	2N	768
BUPS	6	400	2(N+1)	576
CUPS	4	800	2N	512
DUPS	6	400	2N	768
EUPS	6	400	2(N+1)	576

从图4中可以看到，实际运行中，考虑到2N或者2(N+1)架构，AUPS系统负载达到了系统总容量的36%，BUPS系统的负载达到了系统总容量的58.5%，DUPS系统整体负载达到系统总容量的60%，EUPS系统负载达到了系统总容量的18%。这与每套UPS设计容量的80%这一数值还有较大差距。且经过长期运行经验判断，估计除EUPS系统外的UPS系统负载率将不会有大的波动。按照当前情况判断，实际运行负载未达到设计负载率80%，也未达到设计负载80%。

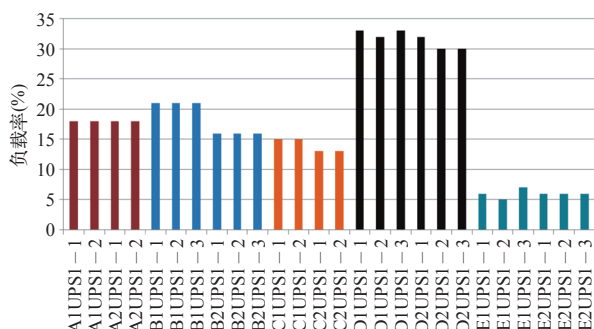


图4 UPS负载率

2 UPS分期部署

2.1 UPS分期部署

UPS分期部署即在数据中心机房模块设计之初，根据机房模块的计划投产情况制定与每批次产生设备功率相匹配的UPS容量方案。如果某一机房模块将在半年或者一年内满负荷运行，则一次性部署大容量UPS系统。若某一机房模块设备投产情况不明朗，或者每批次设备投产时间间隔较久，则按照小容量UPS分期部署。小容量UPS分期

部署方案以1列机柜或者2列机柜为单位进行UPS的配置和布线。文中的UPS分期部署主要是指小容量UPS的分期部署，且UPS按照2N或者2(N+1)架构进行部署。

UPS分期部署方案一是为每组UPS配备一台自动转换开关（ATS）（见图1）。

UPS分期部署方案二是为每套UPS（每套UPS系统分为2组UPS主机）配备一台ATS（见图2）。

UPS分期部署方案三是每台ATS为多套UPS系统中的一组UPS主机提供电源切换，如图5所示。

对于图1、图2和图5中的ATS的配备也有另一种变化，两路市电经过ATS切换后再经过ATS与柴油发电机切换，然后将电源输送到UPS，但不影响ATS后端的UPS系统架构。

若数据中心供配电系统采用中压柴油发电机，则ATS前端架构与图1、图2和图5中架构不同。中压柴油发电机与市电在变压器前端进行切换，ATS则仅为两路市电之间切换。柴油发电机的变化不影响ATS后端的UPS系统架构。

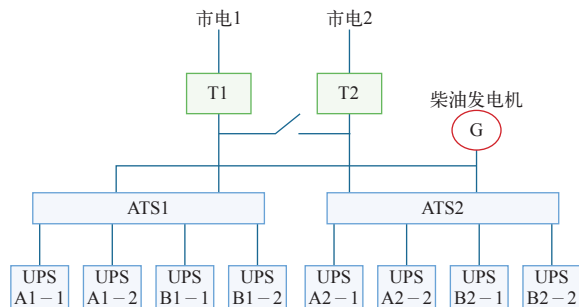


图5 UPS分期部署方案三

2.2 UPS分期部署对配电系统的影响

对于采用UPS分期部署方案而言，数据中心每个机房模块的设计负载是不变的，变化的仅仅是UPS系统的架构，也就是每个机房模块或者每层机房的变压器总容量是不变的。随着UPS系统数量的增加，必然会影响UPS前后端的配电系统配置，增加UPS输入端的断路器的数量或者改变ATS的配置。

UPS分期部署对配电系统的影响：首先UPS分期部署能够减少大容量UPS在机房模块投产初期负载率过低造成事实上的浪费。其次，采用UPS分期部署方案将不同的机柜列划归不同的UPS系统，细

化了机房末端配电的管理，且UPS分期部署方案中列头柜各支路的开关配置与大容量UPS系统列头柜的配置保持一致，未额外增加末端配电系统的配置。再次，某套UPS系统出现灾难性故障时所引起的灾难范围会远小于大容量UPS部署方案。最后，在设备逐步入场过程中，若末端配电系统需要进行调整，UPS分期部署方案更加灵活，且即使末端配电系统调整过程出现异常，所造成的影响将小于大容量UPS部署方案。

当然UPS分期部署方案也存在一定的缺陷：UPS分期部署则意味着UPS输入开关的增多，或者ATS数量的增多，以及UPS输出开关数量的增加，这将增加低压配电柜的数量。UPS分期部署可能会引起机房模块整体UPS容量的增加，将需要部署更多的后备电池，也将需要占用更多的空间。

2.3 UPS分期部署对运维工作的影响

UPS分期部署对于后期运维的影响主要体现在以下几个方面：

1) 随着UPS系统数量的增多加大了UPS系统的日常维护任务。

2) UPS分期部署意味着同一个机房模块的UPS系统所处的使用年限不同，需要加强设备使用生命周期的管理，以便定期更换UPS零部件或者整机。

3) UPS分期部署有利于运维中末端配电系统的改造。

4) UPS分期部署有利于运维中机房区域的改造工作。

5) UPS分期部署也将简化列头柜的管理。

6) UPS分期部署中，同一个机房模块中的机柜可能由两套以上的小容量UPS系统供电。能够避免因整套大容量UPS系统供电异常导致的大规模宕机事故。

7) 对于应急发电机而言，采用UPS分期部署的机房模块，在需要应急柴油发电机供电时，可以逐步投入小容量UPS，不至于因突加的负载导致发电机宕机。甚至在发电机带载能力不足时，能够将小容量UPS轮流投切到应急发电机，争取多些时间进行应急处理。

3 案例分析

以图3的机房模块为例，图3中每列机柜的编号分别为Y1-Y5、Z1-Z5，紫色线条表示位于热通道的强电布线路径。设计需求是：网络机柜电力需求为2 kW/Rack（Z3和Y3为网络机柜），其他机柜电力需求为5 kW/Rack，要求每台UPS主机的负载不超过80%，每台UPS的功率因数按照0.9进行设计选型，UPS后端选用母线进行末端配线。此外，精密空调器已按照2N架构进行设计，该机房模块预计5年达到设计容量。

3.1 大容量UPS系统部署

按照用电需求，该机房模块总的IT用电量为528 kW，UPS按照2N架构进行选择，且每台UPS主机的负载不超过80%，UPS的功率因数为0.9。以此计算，UPS总容量需求为734 kV·A。参考当前各供应商的设备型号，笔者认为选择4台400 kV·A的UPS较为合理。UPS后端配电，则需要两根1 600 A的母线槽架设到该机房模块，然后通过插接箱将电源分配到分支母线中，则网络机柜Y3和Z3需要100 A的配电母线（实际每列需要60 A的配电母线，考虑到产品选型，选用100 A的配电母线），其他每列机柜需要160 A的配电母线。

3.2 UPS分期部署

考虑到网络机柜需要一次性部署完成，其他主机和存储等设备分期完成部署，且主机和存储设备宜靠近摆放，所以该机房模块的分期部署分配方式为：Z3和Y3为同一套UPS系统供电，Z1和Z2为同一套UPS系统供电，Y1和Y2为同一套UPS系统供电，Z4和Z5为同一套UPS系统供电，Y4和Y5为同一套UPS系统供电。

网络机柜Z3和Y3用电需求为48 kW，依据UPS为2N架构，每台UPS主机的负载不超过80%，UPS的功率因数为0.9的需求进行计算，UPS总容量需求为67 kV·A，可以为网络机柜配备两台80 kV·A的UPS。

Z1和Z2两列机柜的用电需求为120 kW，依据UPS为2N架构，每台UPS主机的负载不超过80%，

UPS的功率因数为0.9的需求进行计算, UPS总容量需求为167 kV·A, 可以为网络机柜配备两台200 kV·A的UPS。同理, Y1和Y2、Z4和Z5、Y4和Y5各需配备两台200 kV·A的UPS。

UPS后端配电系统采用末段母线配电的方式, 其中, Z3和Y3的UPS输出母线容量为160 A, 每列网络机柜采用100 A的配电母线, 其他UPS系统输出母线容量为400 A, 每列机柜需要160 A的配电母线。

3.3 UPS利用率

图3所示的机房模块投产方式为: 第1年投入网络机柜Z3、Y3和主机柜Z1、Z2; 第2年投产主机柜Y1和Y2; 第3年将Z4和Z5投入使用, 第4年将Y4投入使用; 第5年达到设计使用容量, 将Y5投入使用; 从第6年开始逐步进行设备的更换或升级。

按照机房模块的投产方式, 大容量UPS部署和UPS分期部署中UPS的负载率如图6所示。其中, 大容量UPS部署方案中, UPS的整体负载率逐年增加, 达到了23.3%、40%、56.7%、65%和73.3%。相比而言, UPS分期部署方案中, 除Y4和Y5的UPS系统外, 每套UPS系统在投产时的负载率即为66.7%。

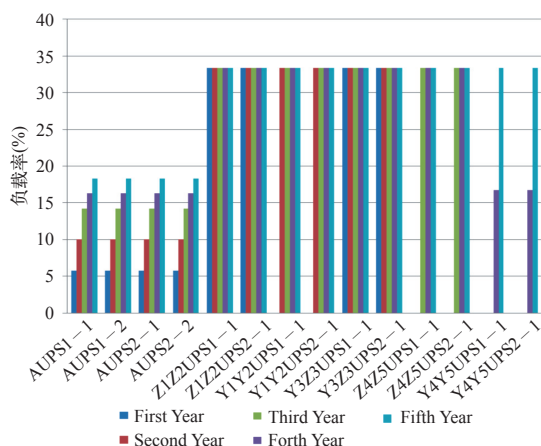


图6 单台UPS负载率

此外, 通过与UPS生产厂家的沟通, 基本建议UPS系统10年进行设备的更换。所以, 如果UPS的负载率长期保持在较低的水平, 不能使UPS系统的能力充分发挥。而UPS分期部署方案中, 考虑将机柜列划分由不同的UPS系统供电, 且UPS系统分期、分散部署, UPS设备的负载率在投产之初即可接近设计时的负载率, 能更好发挥UPS的作用。

考虑到IT设备产品的更新换代等因素, 在机房运维期间可能需要进行配电系统或者其他方面的变动, 如果采用UPS分期部署方案, 则可十分便利地对尚未部署UPS供电的区域进行改动, 或者对即将进行UPS更换的区域进行改造。分步地进行区域改造可以降低机房运行风险。

4 结束语

针对大型数据中心中部分机房模块的负载分期投产的情况, 从UPS系统负载率的角度和后期运维的角度, 提出了分期部署UPS的方案, 并将该方案与大容量UPS部署方案进行了UPS利用率的对比。提高UPS的利用率能够使得设备处于较佳的工作状态, 且UPS分期部署从设备的生命周期管理而言能保证设备的有效利用。随着技术的进步, 相信IT设备提高性能的同时做到功率的下降, 且随着设备更新的速度加快, 相信更加高效和灵活的UPS分期部署方案在传统大型数据中心中会有较好的应用。

参考文献

- [1] 马强, 郑媛媛, 沈立鹏. 微模块数据中心应用技术研究[J]. 电气自动化, 2015, 37(2): 35-37.
- [2] 朱利伟, 李典林, 杨晓伟, 等. 数据中心模块及由微模块组成的数据中心: CN, CN 103729328 A[P]. 2014.
- [3] 王鑫. 高密度机柜制冷解决方案ADU[J]. 电气应用, 2014(8).
- [4] Milligan B. UPS systems face challenges in high-density data centers[J]. Cabling Installation & Maintenance, 2005.
- [5] Beitelmal A H. Special issue on high density data centers[J]. Distributed & Parallel Databases, 2007, 21(2/3): 113-114.
- [6] 张广明. 供电系统的模块化设计与模块化UPS[J]. 电气应用, 2010(14): 22-28.
- [7] 中华人民共和国工业和信息化部. GB 50174—2008 电子信息系统机房设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.

(收稿日期: 2016-06-29) EA