

# 中低压 UPS 系统混合解决方案

## ——为关键任务设施提供混合电源保护的解决方案

美国 S&C 电气公司 Bradford P. (Brad) Roberts

### 论文概要

过去 20~25 年来，关键任务系统的用户一直被强加于这样一个 UPS 系统的设计理念：即无视成本地把高可靠性作为唯一的设计标准。随着数据中心整体规模的快速增长，以及非常高的电源密度，使得使用传统的低压在线式 UPS 设计方案太过复杂而且成本高昂。现在可以通过提高数据中心的电能效率来解决这个问题，并遏制难于控制的成本增长。

本论文介绍了用独特的方法来满足不同增长的电源需求，在动力机械负荷上增加 UPS 保护，降低整个供电基础设施的成本；但是，仍然可以保持传统的低压在线式 UPS 系统设计的特点和整个系统的可靠性。

### 论文主题

- 在花费较低成本的前提下，为大型数据中心 (>10,000kW) 提供第 IV 等级 (Tier IV) 的电源设计。
- 达到 A 级不间断冷却，而对电力成本的影响极低。
- 为关键任务负荷维持至少 10 分钟(取决于传统低压在线 UPS 所配电池时间)电池保护。

### 大容量 UPS 的影响

上世纪 70 年代所开发的标准并联冗余方案演变而来的关键任务 UPS 系统的设计，已经扩展为“双冗余”系统，这是一个第 IV 等级 (Tier IV) 的 UPS 系统设计的核心。在之前的论文中提到，最为常见的 UPS 配置最少需要两套并联冗余的低压 UPS 系统来支持双母线开关，此开关装置用以支持两套 PDU，PDU 包含固态开关输入端子，由每套 UPS 系统或者两个独立的配电盘供电，并为双路服务器机架提供电源。每套 UPS 母线通常由 4 个 4000A、750kVA/480V 的 UPS 模块并联而成。这两套 UPS 系统通常以 N+1 冗余方式轮流工作，因此每套“双”UPS 系统的总负荷被限制为 2,250kVA 的总关键负荷。正常运行时，每套 UPS 系统为总负荷的 50% 提供电力供应，导致每套 UPS 系统的负荷系数低至 25%，这种状况导致每套 UPS 系统的运行效率非常低下。这种低效率还有一层原因，即冷却 UPS 系统的空调系统运行所造成的额外消耗。这些在评估业主的总拥有成本 (TCO) 时常常被忽略。提高总体运行效率的方法，将在下文中进一步阐述。

使用这种 UPS 解决方案来满足第 IV 等级 (Tier IV) 的要求，并且每个 UPS 模块为 750kVA，那么对于一个容量为 2,250kVA 的最大负荷来说，就需要使用 8 个 750kVA 的 UPS 系统 (容量为 6,000 kVA)。这种解决方案可以按比例增加到更大的容量，但现今数据中心的高密度增加了实施这种方案的难度。图 1 为一个典型的低压 UPS 配置方案，其设施规模为 20,000 平方英尺的计算机房，计算机房的电源密度为 200 瓦特/平方英尺。

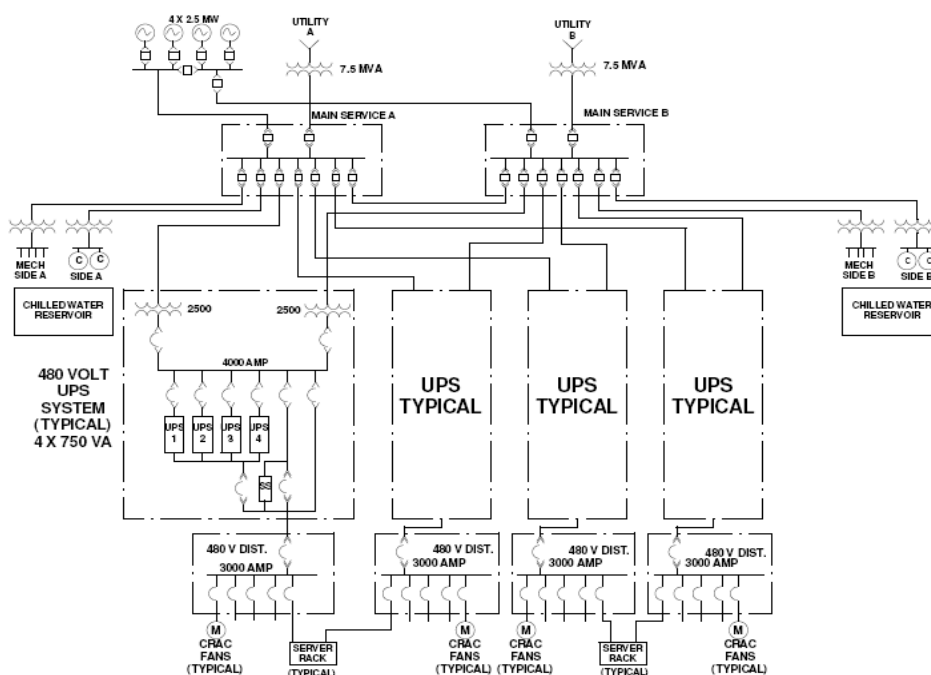


图 1—低压 UPS 电气系统  
支持 20,000 平方英尺的数据中心

由于较高的功率密度，UPS 系统需要为 CRAC 风扇提供电力，从而确保在市电事故期间计算机房的空气是流通的。因此，如果采用这样的设计方案保护高达 4,500kVA 的关键负荷时，则需要 16 个 750kVA 的 UPS 单元（总容量为 12,000kVA）。当数据中心增长至更大的规模时，所需要的 UPS 系统数量和与之相称的 UPS 模块数量将飞速增长，这是非常不切实际的。图 2 的简表显示了满足关键的计算机负荷所要求的 UPS 设备和系统的数量。再加上必要的动力机械负荷所要求的不间断电源保护，设计超过 150 瓦特/平方英尺，使得总的设计负荷完全超过采用大容量 UPS 系统这种方法的设计负荷。

关键负荷	UPS 系统数量 (套)	UPS 模块数量 (个)	UPS 总容量
4,500 kVA	4	16 x 750	12,000 kVA
9,000 kVA	8	32 x 750	24,000 kVA
11,250 kVA	10	40 x 750	30,000 kVA

图 2 — UPS 设备需求 vs.关键负荷  
第 IV 等级设计 (Tier IV 设计)

## S&C 电气公司的中压 UPS 解决方案

2007 年 3 月，在 Uptime Institute 发表的一篇文章中，提出了使用 S&C 电气公司的中压（通常为 12.47kV）离线式 (off-line) UPS 系统设计一个 100% 冗余的 UPS 系统的理念。对于更高的工作电压，特别是大规模数据中心的主配电系统，允许设计更大规模的 UPS 系统，单个 UPS 系统容量可高达 20,000kVA。

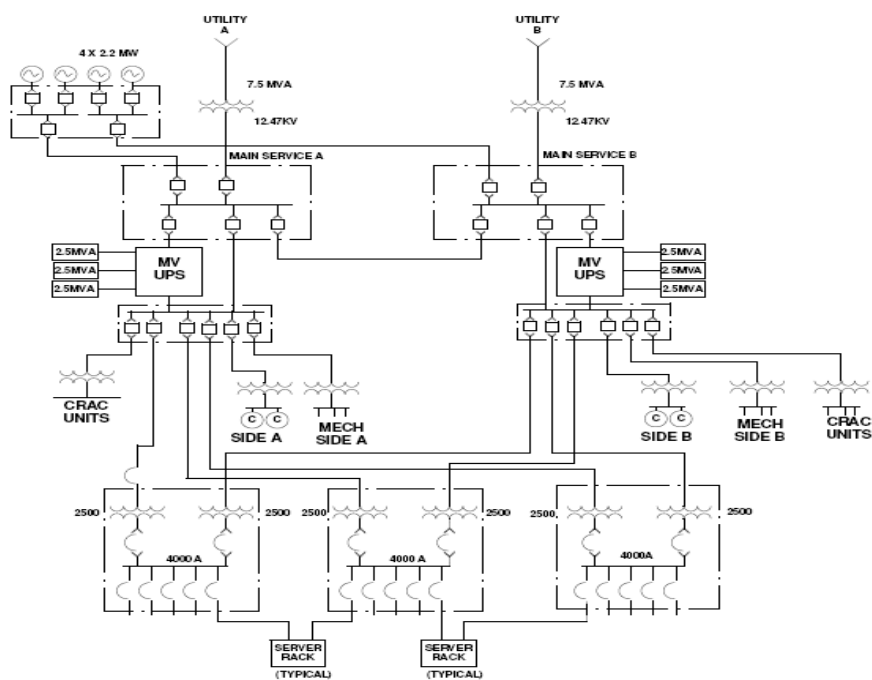


图 3 — 中压 UPS 解决方案 (2 x 7,500 kVA 设计)

由 S&C 电气公司的中压离线式 (off-line) UPS 系统为一个数据中心提供电力支持，系统规模大到足以支持整个建筑物的负荷（包括计算机、动力机械系统和其它支持建筑物的负荷），加上两条供电路由的 100% 冗余，从而具有无可比拟的优势。这种方案中，UPS 系统充足的容量允许支持大型电机设备（冷却器）的定期启停，完全不用考虑因电机涌流而引起的暂态电压。中压 UPS 系统解决方案最大优点是极高的运行效率，甚至在一个 100% 的冗余配置中，整个系统（包括 UPS 冷却损耗在内）的效率通常可达 97.5% 或者更高。而且通过较低的安装成本和减少维护费用来节省运行成本。通过图 1 和图 3 直接比较，显示线路载流量的急剧降低。图 1 中的低压解决方案（4x3,000 kVA/480V UPS 系统）需要 4 个 UPS 输入母线，每个为 4,000 安培；同样需要 4 个 UPS 输出母线，每个为 4,000 安培。同样大小的 UPS 容量，在中压系统中只需要两个 1,200 安培的母线，可以节省大量的铜线。

### 变革的阻力

关键任务设施的运行经理们都面临着这样的压力——接受“绿色”基础设施的设计理念，较低的能源耗费，减少如 UPS 这样的支持系统的成本。尽管有中压解决方案成功实施的先例，但使用离线运行方式配置，将大型数据中心的设计转移到中压设计方案上来，仍将是一个比较大的变革。

为使运行经理们更加乐于接受变革，采取能支持大规模数据中心（10,000kW，甚至更

大) 的设计方案, “混合 UPS 系统” 解决方案的理念目前正应用到几个大型的关键任务设施的设计上, 并已经在一些大型数据中心实际投入运行。本论文的目的就是阐述混合解决方案及其对行业变革所带来的益处。

### 混合 UPS 系统配置方案

混合 UPS 的配置就是将传统的低压在线式 UPS 系统 (一般为 480V) 和 S&C 电气公司的中压 UPS 系统 (一般为 15kV。同样可以与 S&C 电气公司的低压 UPS 系统结合) 简单地结合, 采用 “A” 母线和 “B” 母线设计来满足第 IV 等级 (Tier IV) 的配置要求。此方案的优点是增加了中压 UPS 系统对动力机械支持系统的重要元件的保护, 并可使用传统的低压在线式 UPS 系统作为计算机负荷的首选电源。图 4 是一个混合 UPS 系统的基本设计图。

对一个容量约为 6,750kVA/6075kW 的重要计算机负荷, “A” 母线由 3 套 4x750kVA 的 N+1 冗余的传统的低压在线式 UPS 系统组成, 作为计算机负荷的首选电源。S&C 电气公司的中压系统设计容量可以达到 7,500 kVA, 并可作为必要的动力机械支持系统的 UPS 首选电源, 而且经由关键配电网还可以作为单个或全部低压在线式 UPS 这些关键负荷的备用电源。关键配电网安装在计算机房带有输入固态开关的 PDU 上。从图上可以看出, 如果全部低压在线式 UPS 系统发生失电, 中压 UPS 系统可以直接 “卸载” 机械负荷, 转而向系统供电。

在正常运行情况下, 每个低压在线式 UPS 系统以 N+1 的配置方式运行, 中压 UPS 系统也以同样的方式运行, 因为总的机械负荷低于系统总容量的 50%。

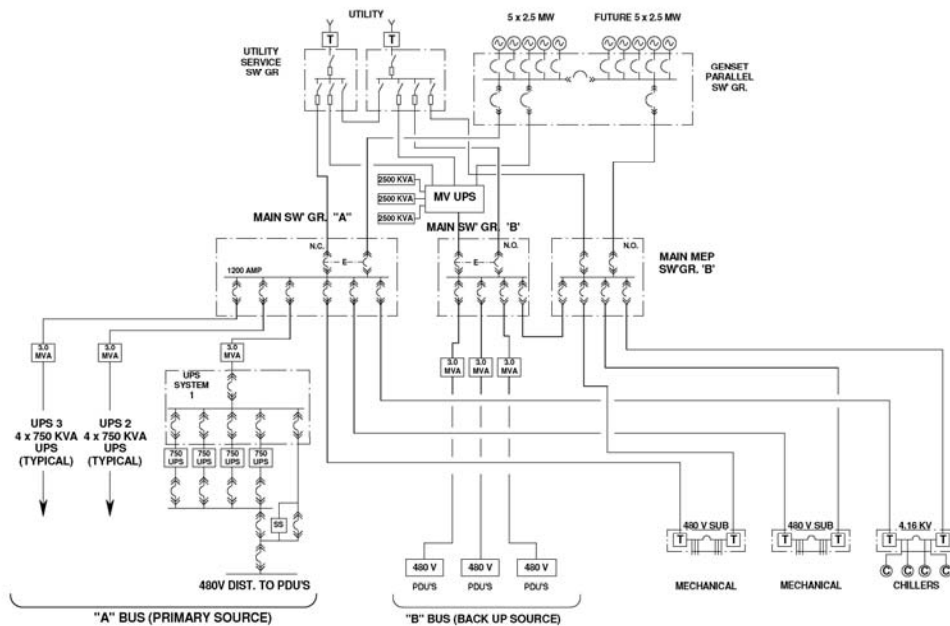


图 4- 混合 UPS 系统图

如图 4 所示为上文介绍的混合 UPS 系统图。此方案提供了两全其美的解决办法, 同时考虑到了动力机械负荷的保护。甚至是在动力机械负荷得到 UPS 保护的情况下, 也都提高了整个系统的运行效率。

## 对运行效率的影响

设计所有新的数据中心时都要考虑对整个基础设施的运行效率的改善。更高的功率密度要求对重要的动力机械系统提供 UPS 保护。每个参与设计的人员都承认用传统的低压在线式 UPS 系统为动力机械负荷提供电源保护既不实际又浪费电能。2007 年，一家于业内居领导地位的顾问工程公司发表了一份关于不同 UPS 技术的运行效率的详细技术报告。图 5 总结了其中的效率数据，他们亲自根据冷却 UPS 系统的空调设备的能源损耗对数据作了调整，这些额外的能源损耗在设计数据中心的电源保护系统时往往被忽略。

负荷百分比	传统的低压在线式 UPS 系统	S&C 离线式 UPS 系统 (中、低压)
10	71.5	92.0
20	82.1	96.5
30	87.0	97.5
40	88.7	97.8
50	89.1	98.0
60	89.4	98.1
70	89.5	98.2
80	89.4	98.5
90	89.2	98.8
100	89.0	99.0

图 5 — 两种 UPS 技术的能源效率比较（包括 UPS 冷却损耗在内）

利用图 5 中的效率信息数据和图 4 中的混合 UPS 配置，下面的实例就是一个为 10,000kW 计算机负荷按照混合方案设计的 UPS 总体效率的计算。这个实例需要 5 套低压在线式 UPS 系统（4x750kVA/675kW）和一套最小容量为 10,000kVA/8,000kW 的中压 UPS 系统。此实例中整个计算机系统负荷通常与传统的低压在线式 UPS 系统连接，而且通常只有动力机械系统（CRAC 单元、泵和冷却器）在中压 UPS 系统下运行。

按照这个水平配置电源，应有 5 套（N+1）传统的低压在线式 UPS 系统工作，占总体 UPS 容量的 75%，从上图可知总体效率为 89.4%。S&C 电气公司的中压 UPS 系统供给所有的动力机械负荷，估计占整个计算机负荷的 33%，或者 3,333kW。对一个 8,000kW 的系统，相应的系统效率是（额定值的 41.7%）97.8%。

结合 UPS 保护的总负荷（10,000+3,333kW），加上必备的总输入电源（1,190+92kW）得到一个 91.2% 的混合 UPS 的总体效率，此系统的总体效率要比仅使用传统的 UPS 高出 2%。更重要的是，仅用最小（92kW）的功率损耗，就为所有的动力机械系统增加了 UPS 保护。如果把计算机负荷的 40% 转换为 S&C 电气公司的中压 UPS 系统支持，其规模大到容量为 12,500kVA/10,000kW 的中压系统，那么 UPS 总体效率将提高到 93.3%，比仅使用传统的低压在线式 UPS 时效率提高 4%，每年电费单上将节省 4,457,000 kWh 的电量。

## 结论

现在可以选择越来越多的方法，用于关键任务设施的电源系统的设计。而为了满足提高电源效率的要求，需要在控制整个系统成本和同时保持最高程度的电源可靠性之间寻求平衡，利用混合 UPS 系统解决方案则可以同时满足这两方面要求。本论文最初目的就是介绍混合设计的理念，这样可以将 UPS 保护真正地扩展到全部设施负荷上来，同时提高总体运行效率。对此方案进行更为详细的分析可以得出：节省整个电气系统的安装成本（回路减少 50% 的载流量）、减少 UPS 设备的安装空间（缩小整个 UPS 的尺寸），并降低 UPS 系统的维护成本。对于任何具体应用，都应把这些项目作为设计方案的一部分加以分析考虑。

## 参考文献

- 1、“低压和中压 UPS 系统在不间断电源及冷却保护应用中的比较”，Bradford P. Roberts, Uptime Institute 研讨会，佛罗里达州奥兰多，2007 年 3 月
- 2、“驱动可支撑重要设施和高性能建筑的技术”，David Callan and Christopher Johnston, 数据中心设施和工程大会，纽约，2007 年 7 月

## 作者介绍

Brad 在关键电源系统（包括低压、中压的应用）的设计和运行方面已经有 35 年的从业经验。在其职业生涯中，他曾在两家主要的 UPS 厂商中担任高级管理职位，发表过 40 多篇关于关键电源系统的设计及技术的论文和文章。

Brad 是注册职业工程师，并拥有佛罗里达大学的 BSEE（电机工程学士）学位。Brad 是 IEEE PES（国际电气和电子工程师协会电力工程学会）应急技术协调委员会主席、Electricity Storage Association（电储能协会）主席和美国能源部顾问委员会高级顾问。Brad 于 2004 年被授予 John Mungenast 国际电能质量奖。

(联系 S&C 电气中国公司：陈嘉华先生 [pqpd@sandc.com.cn](mailto:pqpd@sandc.com.cn))



**Bradford P. (Brad) Roberts**  
电能质量系统总监  
美国 S&C 电气公司电能质量产品部