

# 模块化 UPS 供配电系统及其应用

## Modular UPS Power Supply and Distribution System and Its Application

邓志军

Zhijun Deng

科迪（上海）测试技术有限公司 中国·北京 100101

Commtehasia (Shanghai) Test Technology Co., Ltd., Beijing, 100101, China

**摘要:** 传统的 UPS 系统存在单机故障率高、可扩展性差、可管理性差、维护成本高昂等种种弊端，模块化 UPS 电源可以解决以上的问题，论文主要介绍了为什么生产模块化的 UPS，模块化 UPS 电源的技术要点及特点，组成部分以及传统的塔式一体化的区别，以及优缺点比较。论文对 UPS 需求量大的数据中心具有重大的指导意义。

**Abstract:** The traditional UPS system has a high single failure rate, poor scalability, poor manageability, high maintenance costs and other drawbacks, modular UPS power supply can solve the above problems, this paper mainly introduces why the production of modular UPS, modular UPS power supply technical key points and characteristics, components and traditional tower integration of the difference and advantages and disadvantages of the comparison. This paper is of great guiding significance to data centers where UPS is in great demand.

**关键词:** 模块化 UPS; 功率模块; 并机控制; 热插拔

**Keywords:** modular UPS; power module; parallel control; hot swap

**DOI:** 10.12346/etr.v4i12.7416

## 1 引言

随着通信与网络技术的蓬勃发展，网络化、集成化趋势正以前所未有的速度和深度影响着我们的生活。UPS 电源在网络系统、智能大厦等项目的集成、各行业的实时监控、运算系统供电质量等项目中要求变得越来越高。而传统的 UPS 系统存在单机故障率高、可扩展性差、可管理性差、维护成本高昂等种种弊端，市场已强烈需要新一代更具精密性与综合性、更能灵活管理、更安全可靠 UPS 电源登台演绎。模块化 UPS 电源，正是引用先进高科技技术作为电源保护新概念而推向市场的绿色模块化 UPS。下面介绍一下模块化 UPS 电源的技术要点，组成部分以及传统的塔式一体化 UPS 区别及优缺点比较。

## 2 模块化 UPS 的技术要点及特点

模块化 UPS 可用性高，采用 N+X 冗余并联，提供集成的 UPS 供配电系统而不是模块化 UPS。

灵活扩容，采用在线热插拔设计。性价比高，采用标准

化架构，降低制造和维护成本。

模块化 UPS 供配电系统发源于国外，包括模块化 UPS、模块化精密配电、模块化电池、管理系统四大部分，系统特点是集成化、标准化、模块化、热插拔。模块化 UPS 电源是整个模块化 UPS 供配电系统的一个重要组成部分，拥有完整模块化 UPS 供配电系统解决方案的厂家采取减配策略，根据中国用户的实际需求和预算，只保留核心的模块化 UPS 电源主机，取消模块化电池，用普通电池替代，取消输出精密配电，用本地化配电柜替代等。

大部分后发的厂商采取跟随和逐步完善的策略，看到市场的需求后，先研发和提供简易的模块化 UPS 电源，再逐渐完善增加配套的配电柜，最后提供中国用户需求较少的模块化电池系统等，而管理功能都比较简单。

## 3 传统 UPS 电源的并机架构

传统固定功率 UPS 的并机系统旁路采用两种架构：

①四台（含）以下：采用直接并机多条小旁路架构。每

【作者简介】邓志军（1983-），男，中国北京人，硕士，工程师，从事数据中心的供配电构架解决方案、项目管理及测试管理、建筑智能化的设计及验证研究。

台 UPS 柜体都是一台完整的 UPS, 包括控制、整流逆变充电、静态旁路等, 可以单独运行和销售。每台 UPS 的输出线缆通过各自的输出开关后直接短接在一起形成总输出。

②四台以上: 采用公共静态旁路的并机架构, 采用一条公用的大容量静态旁路, 提高旁路的抗过载能力和抗短路冲击能力。从而提高 UPS 系统的可用性。可以消除多条小功率静态旁路由于阻抗差异造成的不均流, 以及不能同时转旁路使得某条小功率静态旁路先导通承接所有电流而带来的旁路烧毁的事故。降低并机系统维修、扩容、调试等在线操作时可能带来的系统断电风险。公用大容量静态旁路的架构可用性远优于直接并机多条小旁路的架构, 由于采用多条小功率静态旁路, 当过载短路等紧急情况下 UPS 会自动转静态旁路, 但技术上是不能保证所有小静态旁路在同一瞬间导通的, 这会造成先导通的静态旁路因为承受全部负载电流而烧毁, 从而可能引起连锁的静态旁路烧毁故障。即使在所有静态旁路都全部导通后, 也会因为每条静态旁路的器件不一致性造成内阻有差异, 使得每条静态旁路流过的电流不一样, 也可能造成承担大电流的静态旁路故障。因此传统的多台 UPS 并机系统, 一般超过 4 台 UPS 并机, 就要求采用具有公共静态旁路柜的并机模式。

## 4 模块化 UPS 电源的并机架构

模块化 UPS 电源并联的小 UPS 模块的数量远高于传统塔式 UPS 并机系统。业界最高达到 80 个模块并联。模块化 UPS 供配电系统的功率为中小功率, 目前单系统最大的功率为 1600kW, 模块的功率最大为 67kW。模块化 UPS 供配电系统是专为 IT 负载需求而设计的。

模块化 UPS 供配电系统从一开始就是从供配电系统的角度和范围来构建研发目标和框架的, 即包括模块化的 UPS、电池、精密配电、管理四大部分。不仅仅只是针对模块化 UPS 电源的研发。

模块化 UPS 电源的技术本质就是多台小功率 UPS 的并联, 就是 N+X 的并机系统。旁路模式对可用性影响很大。模块化 UPS 电源选用什么样的旁路架构可以参考成熟的固定功率 UPS 并机系统的架构<sup>[1]</sup>。

模块化 UPS 电源会出现多达 80 台 UPS 并联, 远比传统大功率并机系统 4~8 台数量多, 80 条的静态旁路的均衡性更差, 控制更复杂。为提高静态旁路和整个模块化 UPS 电源的可用性, 公共静态旁路的架构是唯一的负责任的选择。这就要求将 UPS 模块中的小静态旁路去掉, 增加公用的静态旁路模块, 需要重新研发, 成本增加。但很多公司研发能力薄弱, 为加快进度, 简单处理, 采用小 UPS 直接并机, 反过来还欺骗用户, 说什么多条静态旁路比一条静态旁路冗余性更好、没有单点故障等<sup>[2]</sup>。

## 5 模块化 UPS 电源的并机控制技术

模块化 UPS 电源的技术本质就是多台小功率 UPS 的并

联, 就是 N+X 的并机系统。目前所有生产模块化 UPS 电源的厂家都采用了传统塔式 UPS 的成熟的主从并机技术, 即由主控机控制一台或多台从机, 每台 UPS 都按照主机发出的控制信号工作, 从而保证每台 UPS 输出的交流电压、频率、相位、电流保持一致, 交流输出端子可以直接短接并联到一起。传统并机系统中, 每台 UPS 都包含并机控制部分, 都可以作为主控机或从机, 至于是主控机还是从机需要按照权重计算方法的结果决定。控制大脑的数量=UPS 电源的数量, 不同的公司对这个主从并机技术有不同的名称, 如集中式还是分散式, 或者分布式, 但这都是广告式语言, 其本质上都是主从并机技术, 即有一个主控机, 多个从机<sup>[3]</sup>。

并联系统中的每个 UPS 模块都有其唯一的地址码, 多模块并联工作时, 系统自动分配地址码最低的模块为主模块, 其余模块为从模块。在一个正常工作的系统中, 就是 1 号模块为主模块。当 1 号模块出现故障时, 其自动退出系统, 同时, 2 号模块自动成为主模块。当 1 号模块重新回到系统中时, 系统控制权重新回到 1 号模块。

多模块并机工作的控制逻辑有以下几种工作状态:

①状态 1: 1 号模块为主模块, 系统全部模块的驱动调制信号由 1 号模块发出。其余模块内的驱动信号与 1 号模块一致, 1 号模块控制电路不断比较实际测量值和标称值间的差异, 然后通过总线将误差值 ( $\Delta e$ ) 传送到所有的模块, 使他们能够调节电流。以这种方式所有的模块均分负载。

②状态 2: 在 1 号模块故障或被拔出而退出时, 2 号模块的控制信号才能导通起作用, 系统自动无间隙切换到 2 号模块控制。2 号模块控制信号导通的条件是 1 号模块控制信号消失。3 号模块控制信号导通的前提是 1、2 号模块都退出了系统。并以此类推。

③状态 3: 假设系统中从模块故障或被拔出, 比如 4 号模块出现故障或被拔出, 其退出系统时系统控制仍然是 1 号模块。

当并联系统的 UPS 的数量比较少的时候, 采用这种控制大脑=UPS 数量的主从并机模式还没有什么大问题。顶多考虑并机线缆的冗余问题。但是一旦模块化 UPS 电源也要采用这种方式的话, 多达 80 台 UPS 并联, 问题就出来了: 系统中有 80 台控制大脑, 需要计算出谁是主控机谁是并排序, 计算太复杂。另外由于控制大脑是和 UPS 功率模块封装在一个物理模块内的, UPS 功率模块的增减与故障, 都会造成主控机和从机重新计算并排序。

UPS 功率部件的故障会连带造成旁边的控制大脑的故障。这么多的模块需要互相通信, 通信线缆针脚数陡增, 任何干扰或者某个信号线接线端子的连接不可靠均有可能导致排序计算失误, 甚至出现 2 个 UPS 模块同时举手都认为自己是主控机的现象, 这种情况叫举手竞争, 会导致控制权的转交时间延长或者转交错误, 均会造成并机系统崩溃、系统瘫痪。系统只有一条并机通讯线缆, 典型的单点故障。

怎么解决 80 台 UPS 并联出现的这些控制问题? 这就要求制造厂商重新研发适合于并联的新架构。该模拟通信技术

为 CAN BUS 总线数字通信技术,降低线缆总数,提高数据通信速度和可靠性,提高并机控制精度。采用两条并机通信线缆,消除单点故障。重新研发设计,将并机控制电路从 UPS 模块中拿出来,单独设计两块并机控制模块,还是主从控制技术,但再也不需要计算优先权排序了,系统简单快速可靠。彻底消除多个控制大脑带来的复杂性。5 台及以下 UPS 可以采用的并机控制架构。5 台以上 UPS 并联,必须重新研发,采用新的架构。

实践证明,重新设计的两块独立的并机控制模块的主从并机技术,简单可靠,很好地解决了多达 80 台小功率 UPS 的并联问题,可用性非常高。很多公司没有研发实力,没有前瞻性,只关注目前 5 个 UPS 模块形成的模块化 UPS,没有考虑今后数十台 UPS 模块并联的需求,简单处理,直接沿用传统固定功率 UPS 的技术,这是最简单的、成本最低的处理方式,因为不需要重新研发,可以快速投放市场。但是这些公司宣称这种简易的模块化 UPS 具有多个控制大脑,比两个控制大脑的冗余度高,号称是第二代、第三代的模块化 UPS,这种似是而非的话对普通用户具有很大的欺骗性。

## 6 模块与机框的物理连接模式

为实现模块能采用插拔式操作,不同厂家采用不同的模块与机框的连接技术,可归纳为三种不同的物理连接模式:

- ①接插件+电缆线+接线端子;
- ②接插件+电缆线+母排(含接线端子);
- ③接插件+背板(含接线端子)。

第一种连接模式需要打开柜体后门,每个模块后部有多个接插件。输入交流、电池、输出交流、控制信号等接插件。通过线缆连接到强弱电端子。研发最简单,成本最低,很多电缆,位于柜体温度最高区域,软化,老化,增加中间连接点,逆变器输出阻抗不一致,环流大,可用性最低。

第二种连接模式需要打开柜体后门,每个模块后部有至少 2 个接插件。通过短线缆连接到母排。需要研发母排以及模块和母排的特殊连接件,成本上升。有很多短电缆,位于柜体温度最高区域,软化,老化,增加中间连接点。母排,逆变器输出阻抗趋于一致,需要设定地址,可用性上升。

第三种连接模式不需要打开柜体后门,每个模块后部有 2 个接插件。直接连接到背板。中间没有任何线缆。普通用户可操作。模块只有一个机械锁位开关,旋开该开关,直接拔出模块,插入新模块,不需要设定地址,旋入锁位开关,模块自动加入系统。整个过程 1~2min。不需要操作液晶屏。需要研发铜排背板,采用安德森连接件,成本上升。没有线缆,减少中间连接点,减少人为因素故障。采用铜排背板,逆变器阻抗一致,不需要设定地址,可用性上升。

很明显,采用接插件+背板模式的模块化 UPS 电源,操作最安全、简单、快速,可用性也最高。但是因为需重新研发 UPS 整体架构,增加铜排,增加公母成套的安德森连接件,成本上升 25%。

## 7 模块化 UPS 电源的在线插拔式操作

要做到模块的在线热插拔,除了物理结构外,技术上还必须考虑:整体电气结构设计合理,控制系统通过辅助信号的控制,保证在模块拔出和插入时是与系统分离的,模块是停止工作的,模块的插拔不会造成电气损坏和系统的故障,不会造成负载断电或走旁路,实现在线操作。最重要的是实现功率模块、静态旁路模块、控制模块、显示操作模块、通信模块等的在线热插拔。

## 8 模块化 UPS 供配电系统统一的显示和操作平台

传统固定功率 UPS 并机系统,每台 UPS 都有自己的液晶操作面板,每台 UPS 都是单独操作。顶多有一个统一的网络监视界面(不能操作和控制)。对于模块化 UPS 电源来讲,在一个机柜内可能有 5~10 台小 UPS,如果要求用户去操作 5~10 个液晶显示器,甚至还要求用户去操作每个模块上的各种小开关,这是很复杂的,降低了可用性。因此,模块化 UPS 电源甚至整个模块化 UPS 系统都应该设计统一的显示和操作平台。模块化 UPS 电源其他重要技术,PFC 整流器——提高输入性能指标,三电平 IGBT 逆变器——提高系统效率,风机转速控制——噪声降低到 48dB,节能。

## 9 结语

模块化 UPS 供电系统在各行业数据中心中起到重要的电源保障作用,尤其是在数据中心行业,要为负载提供不间断的供电,就必须具有电能储存的功能。为确保数据中心的数据不易丢失,首要就是要确保不能停电,所以对数据中心的建设和供配电方案就至关重要。对于数据中心来说,在整个运营过程当中最为重要的就是能源效率。

采用模块化 UPS 电源可以改善数据中心能效,采用模块化 UPS 系统的配置与数据中心的实际功率需求非常匹配,从而减少浪费而不影响性能或冗余。UPS 电源的效率从 92% 跃升至 96%,显著节省了电能。由于模块化 UPS 设备比静态 UPS 的体积要小得多,并且轻便,因此大大减少了对高能耗机房空调的需求。

显而易见,高效的模块化 UPS 系统将扮演一个关键角色,因为数据中心行业将面临“少花钱多办事”的未来。这不仅仅提高了经济利益,也明显提高了环境效益。

## 参考文献

- [1] 梁李明.高频模块化UPS及其并联控制技术研究[J].中国科技信息,2014(9):181-182.
- [2] 王璐,周海潇,罗建,等.感应电动机电源切换的UPS逆变器控制策略[J].电力系统保护与控制,2014(24):49-55.
- [3] 杨碧石.基于UPS电压型逆变电源并联控制技术研究及探讨[J].仪表技术,2011(8):38-40.