



维谛技术白皮书

数据中心UPS分级选型指南

目录 CONTENTS

简介	1
1 UPS架构概述	1
2 塔式一体化及模块化UPS可靠性对比分析	2
2.1 元器件的数量对可靠性的影响	2
2.2 模块并联对可靠性的影响	3
2.3 新旧模块混用对可靠性的影响	5
3 UPS可靠性对数据中心的影晌	6
3.1 可靠性与可用性的关系	6
3.2 UPS可靠性对运维管理的影响	6
4 数据中心分级及选型	8
4.1 数据中心分级	8
4.2 匹配数据中心分级的UPS选型	9
结论	10

当今随着科技的发展，互联网及大数据的快速扩张应用，数据中心的重要性也不断提升，UPS系统作为基础供电设备，其可靠性对于数据中心安全运行起到非常关键的作用。而UPS类型与拓扑结构的多样组合和快速演化对UPS可靠性提出更高挑战。本文就常用的塔式一体化UPS及模块化UPS的可靠性进行分析，阐述如何在不同的应用场景进行合适的UPS选取，供数据中心设计者及用户参考。

1 UPS架构概述

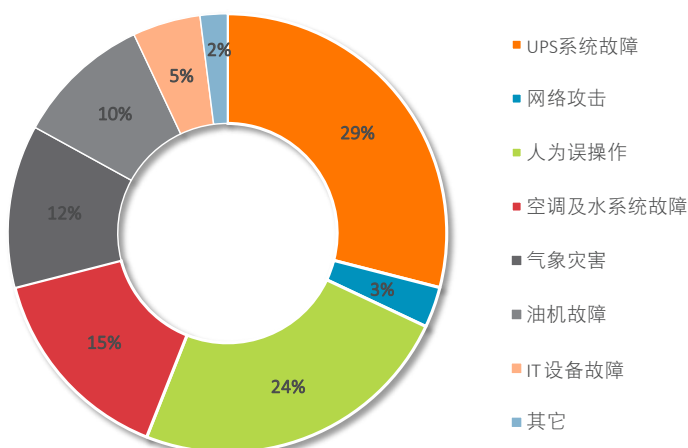
UPS发展至今从架构上可以分为塔式一体化UPS和模块化UPS两大类。塔式一体化UPS（又称塔式UPS）是根据功率容量的不同而选取对应功率元器件进行选型和设计。而模块化UPS最早出现于上世纪90年代后期，其设计理念即把塔式UPS内部的部分器件独立封装起来并联工作以达到方便更换和维修的目的。

由于两种类型的UPS架构的不同而导致的应用方面的差异性，下表给出比较详细的优缺点对比：

	塔式一体化UPS	模块化UPS
优点	• 元器件少，控制逻辑简单 • 无并联组件，无环流隐患 • 部件级维护，维护成本低	• 内部模块冗余，可热插拔 • 易维护，易扩展 • 按需扩容，按需分配
缺点	• 内部元器件一起工作，功率部分无冗余 • 维护时间较模块化UPS长 • 设备容量固定，不易扩容	• 整机元件繁多，各模块为独立运行的单元，控制复杂 • 多模块并联，存在并机“环流”故障隐患 • 新旧模块的混用兼容隐患

两种不同的UPS各有优劣，那么在机房设计时该如何选择？先来看看下图第三方研究机构“Ponemon Institute”在2016年对数据中心宕机原因的分析可知，29%的宕机原因是由UPS供电系统造成的，占数据中心宕机的原因第一位。

数据中心宕机原因统计



因此UPS作为数据中心的供电设备只有基于可靠性为前提，其它的热插拔，易于维护，易扩容等功能才有意义。下面就从可靠性出发来分析这两种不同的UPS的差异。

2 塔式一体化及模块化UPS可靠性对比分析

平均故障间隔时间(MTBF)作为一种可靠性依据已经使用了近60多年。而随着时间的推移目前已经出现了20多种预测生命周期的方法和程序。因此如何计算MTBF也一直是一个争论不休的话题。那么如何在统一的标准下比较MTBF才是有意义的？

为了能够在一个统一的标准下来谈论UPS可靠性，以下两个条件需要澄清：

1: UPS系统输出中断，负载掉电。

2: UPS内部故障，如整流器故障，模块故障，系统转至静态旁路模式继续供电。

目前大多数的厂商在计算UPS的MTBF时均以带静态旁路为模型计算，因此MTBF是一个非常高的数值。但从严格意义上讲，旁路模式已经算是一种故障模式，因为此时的用户负载是完全暴露在无保护的电网环境中。因此从实际场景来看，真正需要关注的是UPS能够逆变带载模式下的可靠性。

下表则是目前典型的塔式一体化UPS及模块化UPS单机MTBF的数据对比。由此可见在排除静态旁路，**逆变模式**下的系统**MTBF塔式一体化UPS比模块化UPS高出约3.3倍**。

典型高频UPS MTBF (25°C)	不考虑静态旁路系统	考虑静态旁路系统
塔式一体化UPS MTBF典型值	104,970	1,002,429
模块化UPS MTBF典型值	30,911	907,013

那么主要影响塔式一体化及模块化UPS的可靠性有以下三点。

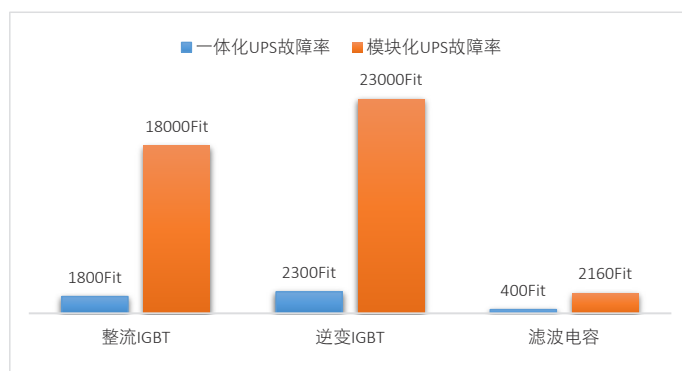
2.1 塔式一体化及模块化UPS可靠性对比分析

塔式一体化UPS是根据实际功率来选择对应功率元器件，所有元器件一起同时工作来组成相应容量功能。而模块化UPS由于其架构的特点，每个功率模块均构成一套独立的UPS系统，多个小模块容量并联从而构成相应容量UPS。所以相同容量的模块化UPS比塔式一体化UPS的元器件要多出数倍。

下表为典型的500kVA塔式一体化UPS及模块化UPS的主要元器件数量对比：

500kVA塔式一体化UPS			500kVA模块UPS	
器件名称	器件规格	器件数量 (个)	器件规格	器件数量 (个)
整流IGBT	1200V/450A	18	1200V/40A	180
逆变IGBT	1200V/450A	18	1200V/40A	180
滤波电容	450V-4700 μ F	48	450V-680 μ F	260

根据元器件数量来计算得到的故障率对比图如下:



故障率(Fit)是指正常工作的产品在规定时间之内, 产品中丧失其规定的功能的产品所占比例。1Fit即是在 10^9 hour内出现一次故障。

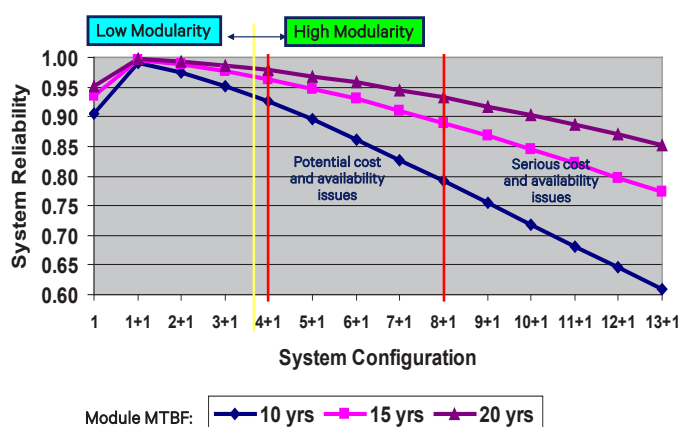
因此从上述表格中元器件数量和其故障率可以知道, **元器件越少, 可靠性越高**。而模块化UPS整体的元器件数量包含电阻, 电容, 电感, 二极管, 三极管等数量均远远大于塔式一体化UPS, 故**塔式一体化UPS的故障率是远低于模块化UPS的**。

2.2 模块并联对可靠性的影响

模块并联对UPS可靠性影响主要分为两个方面:

- 多模块并联数量超过1+1时对可靠性的影响
- 模块并联环流对系统可靠性的影响

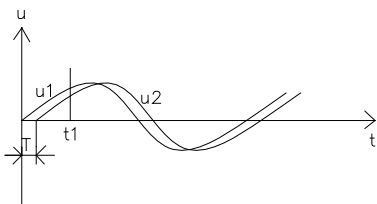
1: 根据马里兰大学可靠性研究中心数据表明, 当系统一旦超过四个模块 (3+1), “N+1”系统的复杂性便明显开始损害系统可靠性。那么对于模块化UPS而言, 目前机柜内模块并联数量N通常均大于4。加上机房设计是2N架构时, 模块化UPS的并联模块数量将远远大于塔式一体化UPS。因此大量模块并联的系统可靠性是低于塔式一体化UPS的, 如下图所示。



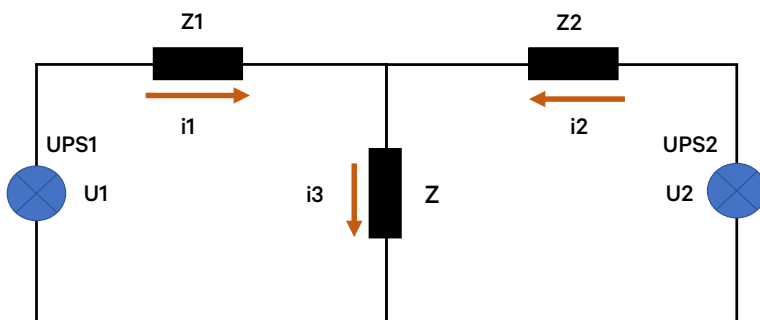
马里兰大学可靠性曲线图

2: 对于交流UPS逆变电压的控制是关键, 而对于模块化UPS则因为多模块化逆变并联输出, 每个模块之间的输出环流控制就是一个避免不了的问题。下面从原理上做一个简单说明。

首先分析并联环流的影响。假定两个UPS模块并联使用时, 因为其输出为标准正弦波, 因此当输出电压具有电压差时, 在某个瞬间 t_1 时, 波形如下。



为了更方便的理解, 用下图两个UPS的逆变部分并联简化电路图做简要说明。

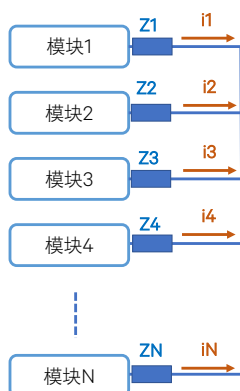


UPS1和UPS2为并联模块, 共同对负载Z供电。其逆变输出的电流分别为 i_1 和 i_2 。负载Z的电流为 i_3 。两个UPS的内部等效输出阻抗分别为 Z_1 和 Z_2 。

首先假定两台UPS之间的等效阻抗 $Z_1=Z_2=Z_0$; 根据基尔霍夫定律可得知, 其中一台UPS的逆变输出电流 $i_2 = \frac{u_1 - u_2}{2Z_0} + i_3/2$ 。因此:

1. 空载时 $i_3 = 0$, $i_2 = -\frac{u_1 - u_2}{2Z_0}$ 。因为 $u_1 > u_2$, $i_2 < 0$ 。 i_2 为负说明实际方向与标定方向相反, 也就是说 i_2 不是流向负载, 而是流向 u_2 内部, 形成环流。环流破坏电源的稳定性, 严重时会使 u_2 损坏。
2. 当负载较轻, 即 i_3 较小, 或两电源差较大, i_2 也会出现负值, 形成环流。同时, 当电源阻抗较小时, 环流有增大的趋势, 这就是大功率电源轻载运行时环流问题十分突出的原因。
3. 当 $u_1 = u_2$ 时 $i_2 = \frac{i_3}{2}$, 两电源均匀向负载供电, 不存在环流。
4. 当两电源差固定, 若负载电流增大到一定量时, i_2 为正, 说明 u_2 向负载供电, 此时环流将体现在负载电流不均衡的情况。

上述模型仅仅分析了两个UPS模块并联时的情况。当并机模块数量增多时, 如下图所示, 则每个UPS模块之间的输出电压、相位、UPS内阻均需要达到一致才能抑制环流的产生。因此对于多模块并机系统而言, 模块并联数量越多则环流的控制难度越大, 故障率越高。



由以上公式及模型可知，在模块化UPS的各模块输出电流由供给负载的电流和环流叠加而成。而环流的幅值则由两个输出电源之间的电压差决定，其造成了两个UPS模块输出功率的差异。在模块并联时，环流第一会增加线路中阻抗的损耗，第二会造成并联模块之间的电流互灌。这样将导致在模块并联输出时负荷较大的UPS可能出现过载，从而导致过载模块自动退出，引起连锁反应使得系统转至旁路模式。严重时将会出现模块内部IGBT损坏引起短路，从而引起整个UPS宕机。

2.3 新旧模块混用对可靠性的影响

IT系统一般每三到五年会进行升级，而电源基础架构必须服务于数据中心的整个生命周期，通常是十年甚至更长的时间。那么对于UPS制造商是否会为模块提供10年甚或更长时间的支持？扩展模块是否可用？价格如何？供应商会保证这段时期的向后兼容性吗？如果更换的新模块与旧有模块产生了一定的兼容性，那么新旧模块在并联时就很可能由于内部逆变器阻抗等原因导致并机失效。

以目前UPS的正常使用寿命，比如10年来看，模块UPS在不断进行模块更换的时候会在以下方面影响其可靠性：

新旧模块之间的差异性		新旧模块并联隐患
1	模块元器件生产批次不同	模块输出内阻不同导致并机环流增大，引起系统故障
2	模块控制软件升级更新	模块兼容性变差，容易引起并机异常，导致系统故障
3	成本持续优化更换新的元器件	模块兼容性变差，容易引起并机异常，导致系统故障

综上所述，从元器件数量带来的故障率差异，模块并联数量及新旧模块并联等造成的可靠性下降等方面不难看出，塔式一体化UPS的可靠性高于模块化UPS。然而现在的数据中心应用时，有UPS供应商提出可用性的概念，认为模块化UPS即使可靠性相比塔式一体化UPS较差，但是由于其快速维护等特点，整体可用性比塔式一体化UPS要高。这种说法是否正确？下面就从数据中心实际角度来分析一下。

3 UPS可靠性对数据中心的影响

3.1 可靠性与可用性的关系

可靠性和可用性是评判产品及系统应用较多的两个概念，但是很多时候这两者很容易被混淆。可用性和可靠性之间的存在一定的关系，可以用MTBF及MTTR来计算说明。

MTBF在前面已作说明，其表示设备在某段时间的平均故障时间。当MTBF越大时，则代表该设备越可靠。而平均故障时间MTTR (Mean Time To Repair) 是当设备出现故障后修复时间的预期值（平均值）。MTTR越短则表示易维护性越好，从故障到恢复运行所耗费的时间越短。



有了MTBF和MTTR就可以计算出产品的可用性 $A(t)$: $A(t) = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$ 。
可靠性强调到时间 t 内的故障事件数量，而可用性关注设备在时间 t 的状态。可用性函数 A(t) 并没有说明在时间 t 内发生的故障数量。因此在给定的时间间隔内，A 和 B 可能故障数量不同，但可有相同的可用性。如下表所示：

	情况1	情况2	情况3
故障次数	2次	4次	10次
平均维修时间	1小时	0.5小时	0.2小时

由此可见可用性是由MTBF和MTTR共同决定，所以我们需要在追求尽量少的故障次数（高可靠性）的前提下，再降低MTTR才能有效提高可用性。对于UPS这种数据中心核心供电设备，即使模块化UPS的故障同样会给数据中心运行及维护造成影响。

3.2 UPS可靠性对运维管理的影响

数据中心的运维管理是数据中心非常重要的部分，其内容包含制定与业务连续性管理有关的运维管理策略、运维管理流程与具体的运维实施细则。

根据“ISO/IEC 27001信息安全管理标准”的及“中国数据中心运维管理指南”关于数据中心管理监控的相关内容，当数据中心发生告警/事件时，按照管理原则基本可分为三个等级。

告警/事件等级	描述
一级事件（紧急告警）	已经或即将危及设备和通信安全，关键服务中断，造成重大影响，必须立即处理的告警。一般以 红色 标识
二级事件（重要告警）	可能影响设备及通信安全，关键部件出现故障导致不满足冗余条件或服务水平下降需要安排时间处理的告警。一般以 橙色 标识
三级事件（一般告警）	系统中发生了不影响设备及机房安全但应注意的事件。一般以 黄色 标识。

作为数据中心的核心基础供电设备，当UPS核心器件故障时从上述描述中可以知道至少属于二级事件。而模块化UPS的功率模块故障也不例外，主要原因如下：

- 单个模块故障看似不影响其余模块正常工作。但每次模块故障（如内部IGBT/母线电容/滤波电容等）严重短路依然可能造成整个UPS故障，此种情况业内已经发生过不止一例。
- 功率模块同样属于关键元器件。因此每次故障仍然同塔式一体化UPS更换部件一样，进行详细的事件分析和记录，分析故障原因等。
- 模块故障依然需要厂家工程师上门来进行检修确认，确保即使单模块更换完成后，剩余模块没有受到故障冲击从而留下潜在故障隐患。

因此从数据中心运维的角度来看，模块化UPS虽然具有易维护，易更换的特点，但高可靠，低故障次数才是降低**运维难度**的关键。所以在数据中心架构冗余（A级或Tier III/IV级别）时，塔式一体化UPS更受数据中心建设者的青睐。这也与当今国内外主流数据中心如Apple/Equinix/Amazon/万国数据等UPS实际应用类型相符。

目前某些模块化UPS厂商也在努力改善模块并联数量过多导致系统可靠性降低的问题，比如将单个模块的容量从目前最大的50kVA提高到80kVA甚至100kVA，通过提高单模块功率来降低并联模块数量。诚然这种方法降低了整机并联数量，但随之带来三个问题：



单纯提高模块化UPS的模块功率并不能从根本上解决模块化UPS的可靠性问题。根据**机房等级，负载容量，最优颗粒度**选择合适功率的塔式一体化UPS是保证A级或Tier III/Tier IV具有高可靠性及可用性的最佳方案。

4 数据中心分级及选型

4.1 数据中心分级

随着信息技术的发展, 各行各业对数据中心的建设提出了不同的要求。

《数据中心设计规范》(GB 50174-2017) 从数据中心的使用性质和数据丢失或网络中断在经济或社会上造成的损失或影响程度, 将数据中心划分为A、B、C三级, A级为“容错”系统, 可靠性和可用性等级最高; B级为“冗余”系统, 可靠性和可用性等级居中; C级为满足基本需要, 可靠性和可用性等级最低。

“3.2.1 A级数据中心的基础”设施宜按容错系统配置, 在电子信息系统运行期间, 基础设施应在一次意外事故后或单系统设备维护或检修时仍能保证电子信息系统正常运行。

附录1 各级数据中心技术要求

项目	技术要求			备注
	A级	B级	C级	
不间断电源系统配置	2N或M (N+1) (M=2、3、4、, , ,)	N+1	N	$N \leq 4$
	一路 (N+1) UPS和一路市电供电	-	-	满足3.2.2条要求时
	可以2N, 也可以 (N+1)	-	-	满足3.2.2条要求时
不间断电源系统自动 转化旁路	需要		-	-
不间断电源系统手 动转化旁路	需要		-	-

同样在美国标准TIA-942《数据中心的通信基础设施标准》中主要是根据数据中心基础设施的“可用性 (Availability)”、“稳定性 (Stability)”和“安全性 (Security)”分为四个等级: Tier I, Tier II, Tier III, Tier IV。

类别	级别	具体内容
美国标准 ANSI/TIA-942 数据中心通讯网络基础设施标准	Tier I	(基本数据中心) 满足数据中心运行的基本需求, 无冗余。
	Tier II	(冗余设计数据中心) 数据中心具有冗余设备, 但所有设备仍为一套系统
	Tier III	(可并行维护数据中心) 所有IT设备均为双电源供电 (如 Uptime Institute 的《容错电源合规规范 2.0 版》所述)。
	Tier IV	(容错数据中心) 所有IT设备均为双电源供电 (如 Uptime Institute 的《容错电源合规规范 2.0 版》所述)。 补充系统和分配路径必须相互物理隔离 (分区化), 以防任何单项事件同时影响两个系统或分配路径。

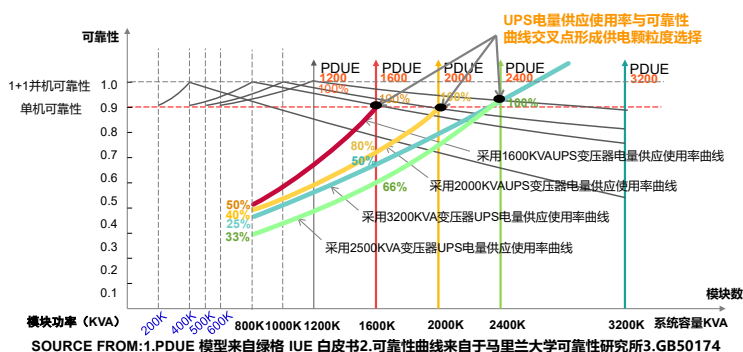
由上述关于数据中心的国内外权威标准可知, 我们在建设A级或者Tier III/Tier IV的数据中心时, UPS系统方案应匹配数据中心等级。

4.2 匹配数据中心分级的UPS选型

当今数据中心供电是朝着更大UPS系统功率方向发展，而如何选择云计算数据中心供电最佳颗粒度则又由三个因素决定：变压器容量、UPS单模组容量以及并机系统的可靠性。

通常变压器有1250KVA、1600KVA、2000KVA、2500KVA与3200KVA等容量选择，目前UPS单模组的容量考虑维护方便通常设计都小于800KVA。

根据绿色网格TGGC最新发布的IUE白皮书以及马里兰大学可靠性研究所的PDUE模型可知，在数据中心领域，根据UPS模组容量的不同在4台UPS并联后，UPS电量供应IUE曲线（最佳点是100%使用率）与可靠性曲线（要求并机的可靠性高于单机）的交叉点形成供电最佳颗粒度选择为1.6MVA、2.0MVA和2.4MVA。



那么根据上述三种最佳供电颗粒度来看搭建A级或Tier III/Tier IV的数据机房，举例说明基于2.4MW的颗粒度，塔式一体化UPS及模块化UPS的数量对比如下表：

2.4MW 2N系统

	单机功率	UPS总数量	UPS颗粒度	并联总数量
塔式一体化UPS	600kW	8	600kW	8
模块化UPS	600kW	8	50KW	96

由上述配置可知，以目前主流最大单模块功率50KW来计算，当数据中心在2.4MW供电最佳颗粒度的应用场景下，模块化UPS的单模块数量将是塔式一体化UPS的十几倍。而通过前面的模块化UPS的并联数量与可靠性的对比关系可以知道，模块化UPS的小颗粒模块数量越多，整体故障率越高。

因此对于A级或Tier III/Tier IV的数据中心，根据相应配置及容量选择合适的塔式一体化UPS具有更高的单机可靠性及系统可用性。而对于B级及以下或Tier I/Tier II的数据中心，则可选择更易维护的模块化UPS。

结论

通过上述可靠性分析及数据中心分级得到以下结论：

- 1: 模块化UPS同容量元器件数量比塔式一体化UPS多，其故障率更高。
- 2: 模块化UPS的模块数量超过3+1并联数量时整体可靠性反而下降。
- 3: 模块化UPS多模块并联输出环流导致其可靠性低于塔式一体化UPS。
- 4: UPS高可靠性是数据中心高可用性的基础。
- 5: 高可靠性，低故障率才能有效降低数据中心运维的难度。

因此数据中心UPS分级选型的建议如下：

- 1: 对于A级或TierIII/IV级数据中心，如金融行业、国家级信息中心、重要的军事部门、交通指挥调度中心、电视台、应急指挥中心、电信等行业及企业认为重要的数据中心，此类数据中心在采用可靠的2N架构的同时，推荐使用中大功率塔式一体化UPS，有效减少由于多模块并联导致的高故障率隐患。
- 2: 对于B级及以下的C级或TierI/II级数据机房，其负载多为非关键核心负载，以经济效益为主要目的。在采用N+1甚至N的配置情况下，可推荐使用中小功率模块化UPS，以获得更好的单机系统冗余性及易维护性。