

T/ISC

团 体 标 准

T/ISC XXXX—XXXX

数据中心飞轮储能 UPS 电源系统技术规范

Technical specification for flywheel energy storage UPS power supply systems in
data centers

（征求意见稿）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国互联网协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 分类与命名 2

5 组成结构 3

6 总体要求 4

7 技术要求 5

8 试验方法 8

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国互联网协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

数据中心飞轮储能 UPS 电源系统技术规范

1 范围

本文件规定了数据中心飞轮储能UPS电源系统的分类与命名、组成结构、总体要求、技术要求及试验方法的要求。

本文件适用于数据中心场景用飞轮储能不间断电源（FW-UPS）系统，覆盖中压交流FW-UPS、低压交流FW-UPS、直流800V FW-UPS的设计、制造、检验与运行管理。

本文件不适用于易燃易爆、强腐蚀性、强电磁干扰等特殊环境专用的飞轮储能UPS电源系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3859.2 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第1-2部分：应用导则

GB/T 5226.1—2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 9254 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法

GB/T 14715 信息技术设备用不间断电源通用规范

GB/T 43331 互联网数据中心（IDC）技术和分级要求

GB/T 44934 电力储能用飞轮储能单元技术规范

GB 50174 数据中心设计规范

GB 50171—2012 电气装置安装工程盘、柜及二次回路接线施工及验收规范

YD 5059—2005 电信设备安装抗震设计规范

3 术语和定义

GB/T 14715、GB/T 43331、GB/T 44934界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

脉冲负载 pulse load

别名脉冲负荷、脉冲载荷，在电力系统中，指短时、高强度的动态负荷，具有平均功率低、峰值功率高的特点，电流呈现脉冲特性。

3.2

飞轮储能 UPS flywheel uninterruptible power supply (FW-UPS)

以飞轮储能为备用电源，通过电力电子变换装置实现市电与储能电源无缝切换，为数据中心关键负载提供不间断、高质量供电的电源系统。

3.3

中压交流 FW-UPS medium voltage AC FW-UPS

输入、输出额定电压为6kV~35kV，采用交流供电模式的飞轮储能UPS系统。

3.4

低压交流 FW-UPS low voltage AC FW-UPS

输入、输出额定电压为220V/380V/400V/415V，采用交流供电模式的飞轮储能UPS系统。

3.5

直流 800V FW-UPS DC 800V FW-UPS

输出额定电压为DC 800V/750V，适配高压直流供电架构，采用直流供电模式的飞轮储能UPS系统。

3.6

在线式 FW-UPS online FW-UPS

市电正常时，市电经整流、逆变后为负载供电，同时为飞轮储能单元充电；市电异常时，飞轮储能单元经逆变后为负载供电，实现零中断切换的FW-UPS。

3.7

互动式 FW-UPS line interactive FW-UPS

市电正常时，市电直接为负载供电，同时为飞轮储能单元充电；市电异常时，快速切换至飞轮储能单元供电的FW-UPS。

3.8

真空系统 vacuum system

用于维持飞轮本体运行环境真空度，减少空气阻力和能量损耗的系统。

3.9

自动润滑系统 automatic lubrication system

为飞轮轴承提供自动润滑，保障轴承长期稳定运行的系统。

3.10

额定转速 rated speed

飞轮储能单元正常工作时的标准旋转速度。

3.11

额定功率 rated power

FW-UPS系统长期稳定运行时，能够持续输出的有功功率。

3.12

真空度 degree of vacuum

飞轮本体运行环境的真空程度，通常以帕斯卡（Pa）为单位。

3.13

浮充 float charging

在蓄电池充满后，持续施加恒定电压（浮充电压）以极小电流持续补电，抵消电池自放电损耗，使电池保持在100%荷电状态同时避免过充损伤电池的充电方式。

3.14

小型系统 small system

单机储能容量在0.5 kWh~100 kWh区间、功率等级在2 kW~3000 kW以内的飞轮储能系统。

3.15

Tier 等级 Tier class

根据TIA-942标准定义的全球通用数据中心基础设施分级体系，主要依据冗余配置、可用性、容错能力划分为4个等级。GB 50174中的A/B/C三级标准，与Tier分级存在对应关系：国标A级对应Tier IV，国标B级对应Tier II和Tier III，国标C级对应Tier I。

4 分类与命名

4.1 分类

4.1.1 储能功率类型

按储能功率类型分类应符合表1的要求。

表1 储能功率类型

类别	输出功率	单机储能容量	应用场景
小型低功率型	2 kW~3000 kW	0.5 kWh~100 kWh	家用风光互补、小型 UPS、实验室短时功率调节等
中型中功率型	3 kW~10MW	10 kWh~100 kWh	轨道交通站点制动能量回收、工业短时功率补偿、中小型数据中心等
大型高功率型	≥10 MW	混合飞轮储能阵列	电网调频、超充站大功率缓冲、燃气机组热电解耦调峰、大型数据中心等

4.1.2 工作拓扑

按工作拓扑分类要求如下：

- a) 在线双变换式 FW-UPS：市电正常时，市电经整流、逆变后为负载供电，飞轮储能单元处于浮充状态；市电异常时，飞轮储能单元经逆变后为负载供电，切换时间短，电能质量高；
- b) 在线互动式 FW-UPS：市电正常时，市电直接为负载供电，飞轮储能单元同步充电；市电电压出现小幅波动时，通过调压模块进行补偿；市电中断时，切换至飞轮储能供电；
- c) 市电直供+应急逆变式（ECO 模式）FW-UPS：市电正常且电能质量达标时，市电直接为负载供电，效率高；市电异常时，快速切换至飞轮储能逆变供电，兼顾节能与电池质量可靠性。

4.1.3 飞轮支撑方式

按飞轮支撑方式分类要求如下：

- a) 机械轴承 FW-UPS：飞轮本体采用机械轴承支撑，结构简单，成本较低，适用于中低功率、对能耗要求低的场景（如企业机房、小型数据中心等）；
- b) 磁悬浮轴承 FW-UPS：飞轮本体采用磁悬浮轴承支撑，摩擦损耗小，转速高，储能效率高，适用于大功率、长寿命、高可靠性要求的场景（如中压、直流 800V FWUPS）；
- c) 混合支撑 FW-UPS：飞轮本体采用机械轴承与磁悬浮轴承混合支撑，兼顾可靠性与成本，适用于中等功率场景（如分布式数据中心等）。

4.2 命名

命名格式见图1所示。

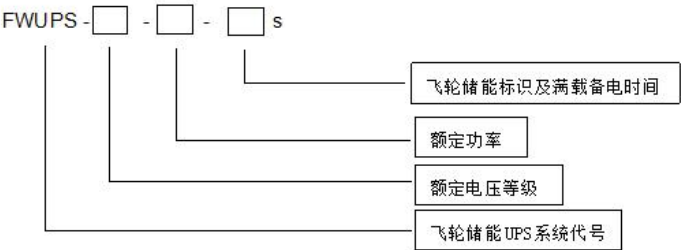


图 1 命名格式

- 示例 1：FWUPS-10kV-2M-25S：飞轮储能 UPS，额定电压 10kV，额定功率 2MW，满载备电 25s。
- 示例 2：FWUPS-400V-100K-30S：飞轮储能 UPS，额定电压 400V，额定功率 100kVA，满载备电 30s。
- 示例 3：FWUPS-800VDC-1M-20S：飞轮储能 UPS，额定电压 DC 800V，额定功率 1MW，满载备电 20s。

5 组成结构

5.1 分类架构

5.1.1 中压交流 FW-UPS

中压交流FW-UPS系统采用“中压输入→中压输出，飞轮储能单元热备用，随时等待补偿”的架构，实现中压直入直出，减少能量损耗。核心特点如下：

- a) 可采用传统变压器+PCS 或者集成固态变压器（SST），实现中压与低压的高效变换，同时具备电压调节、谐波治理功能；
- b) 电力电子变流系统，支持四象限运行，响应速度快；
- c) 系统集成 UPS、DVR（动态电压恢复）、PCS（储能变流）、APF（有源滤波）、SVG（无功补偿）五合一功能，全面优化电能质量；
- d) 支持多机并联扩展，满足大型数据中心供电需求。

5.1.2 低压交流 FW-UPS

低压交流FW-UPS系统采用“低压输入→整流→逆变→负载”的传统架构，适配数据中心低压配电系统，核心特点如下：

- a) 整流模块采用高频整流技术，效率高，谐波污染小；
- b) 逆变模块输出纯净正弦波，电能质量高，适配各类低压 IT 负载；
- c) 飞轮储能单元可根据功率需求选择机械轴承或磁悬浮轴承，小型系统多采用机械轴承，中型系统优先采用磁悬浮轴承；
- d) 支持 ECO 节能模式，市电正常时直供负载，异常时快速切换至 UPS 逆变供电；
- e) 支持多机并机运行，满足中小型数据中心扩容需求。

5.1.3 直流 800V FW-UPS

直流800V FW-UPS系统采用“直挂800VDC母线，飞轮储能单元热备用，实时补偿”的架构适配高压直流供电的智算中心、高密度数据中心，核心特点如下：

- a) 系统直挂 800VDC 母线，UPS 直接输出 DC 800V 高压直流，减少能量变换损耗；
- b) 飞轮储能单元采用磁悬浮轴承，响应速度快，实时补偿 GPU 的功率波动，保障负载零中断供电。

5.2 系统结构

数据中心飞轮储能UPS电源系统通用组成包括飞轮储能单元、电力电子变流系统、控制系统、监控系统、配电系统、旁路系统，部分系统可根据类型不同增加辅助功能模块(如中压系统的固态变压器SST)。

- a) 飞轮储能单元：核心部件为飞轮本体、轴承系统、真空系统、自动润滑系统、双向电机，用于存储和释放电能，根据支撑方式分为机械轴承型和磁悬浮轴承型。
- b) 电力电子变流系统：实现电能的变换与控制，包括整流模块、逆变模块、DC/DC 变换模块（直流 800V 系统）、中压变流模块（中压系统），确保输出电能质量达标。
- c) 控制系统：负责系统的整体控制，包括飞轮充放电控制、切换控制、保护控制、冗余控制等，确保系统稳定运行。
- d) 监控系统：实时监测系统运行参数、设备状态，记录运行日志、报警信息，支持本地和远程监控，实现故障预警与诊断。
- e) 配电系统：包括输入配电、输出配电、旁路配电，负责电能的分配与传输，中压系统还应配置中压开关、电抗器等设备。
- f) 旁路系统：包括手动旁路和自动旁路，市电正常或系统故障时，可切换至旁路供电，保障负载连续运行，便于系统检修。

6 总体要求

6.1 总体性

6.1.1 与 Tier 等级匹配

FW-UPS系统的配置、冗余方式应符合数据中心所处的Tier级别要求，确保整体供电可用性达标（如Tier 4级数据中心应配置N+1及以上冗余）。

6.1.2 全生命周期业务连续性

从数据中心建设初期到运营末期，FW-UPS系统应保障7×24小时不间断供电。

6.1.3 集成于整体供配电架构

FW-UPS系统需与市电、柴油发电机、ATS（自动切换开关）、PDU（电源分配单元）等设备协同工作，形成“市电→FW-UPS→柴油发电机或其他电源→IT负载”的完整供电链条，保证市电中断时飞轮储能先供电，柴油发电机启动后无缝接力。

6.1.4 能效与绿色低碳

FW-UPS系统效率直接影响数据中心PUE（能源使用效率），选型时应考虑全负载率区间效率，含飞轮状态下：低压FW-UPS典型负载（20%~40%）下效率 $\geq 90\%$ ，中压、直流800V FW-UPS典型负载下效率 $\geq 98\%$ ；优先采用节能模式。

6.1.5 高可靠性与长寿命

FW-UPS系统设计寿命不少于20年（磁悬浮轴承类型），不少于15年（机械轴承类型）。含飞轮状态下，平均无故障时间（MTBF）不少于87600 h，停机完成后平均维修时间（MTTR）不大于10 min。

6.2 协调性

6.2.1 与 IT 负载协调

精准匹配服务器、存储、交换机等IT设备的功率因数（ ≥ 0.99 ）、谐波容忍度（THDi $< 2\%$ ）等特性，预留20%~30%冗余容量。

6.2.2 与制冷系统协调

FW-UPS系统自身发热需纳入机房热负荷计算，优化机柜布局与冷热通道设计，降低制冷系统负担；中压、直流800V FW-UPS优先采用集中式部署，节省机房空间。

6.2.3 与监控管理系统协调

支持Modbus、Modbus TCP等通讯协议，可接入DCIM（数据中心基础设施管理）系统，实现远程监控、参数设置、故障预警、预测性维护；飞轮转速、真空度、温度、电池（若有）健康度等数据需实时上传，支持AI故障预警。

6.2.4 支持未来扩容

采用模块化设计；接口标准化，支持与新能源、储能系统智能协同，从“备用电源”向“智能能源节点”演进；兼容多家标准化设备同时运行。

6.3 安全性

6.3.1 应具备方便操作的总开关，能及时切断电源，开关标识清晰，操作便捷。

6.3.2 机柜应配置必要的通风和散热系统，确保设备运行温度在规定范围内。外壳金属部分、机柜、内部电气部件应可靠接地，接地系统符合 GB/T 5226.1—2019 的要求，防止触电事故。

6.3.3 应具备失压、过压、过流、短路、过温、过载等保护功能，保护动作准确可靠，能及时发出声光报警并采取停机、旁路等措施。

6.3.4 飞轮本体应有安全防护功能，设置防护外壳、超速保护装置，防止飞轮损坏造成人身伤害；飞轮储能装置应有地脚螺栓等安装固定部件，确保在线运行安全。

6.3.5 飞轮储能装置的结构应易于搬运、运输，应标明设备总质量，注明装卸起吊位置；中压 FW-UPS 还应具备高压绝缘防护、局放检测等安全措施。

7 技术要求

7.1 环境条件

7.1.1 温度

工作温度： $-20^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ ；

贮存温度： $-25^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

7.1.2 相对湿度

工作相对湿度：0~95%（无凝露）；贮存相对湿度：0~95%（无凝露）。

如有凝露的情况下，应停运消除凝露。

7.1.3 海拔

一般使用条件为海拔不超过1500 m，此时设备无需降容。

海拔高度超过1500 m时，应按GB/T 3859.2的规定降容使用，每升高1000m，额定功率降容10%。

7.1.4 电磁兼容

飞轮储能装置对环境的电磁干扰、谐波应符合GB/T 9254的限值规定；

电磁噪声和无线电骚扰耐受性应符合GB/T 9254的限值规定，根据需方要求，可由供需双方商定选用A级或B级所规定的无线电骚扰限值。

7.1.5 振动与冲击

应符合GB/T 44934的规定。

7.2 外观结构

7.2.1 机柜安装应满足 GB 50171-2012 第4章中的要求，机柜表面应平整简洁，漆面匀称，无流挂、剥落、毛刺、锈蚀或裂痕等现象。

7.2.2 所有标牌、标识、文字符号应完整、清晰、正确、整齐、耐久可靠，标识内容应包含设备型号、额定参数、制造商信息等。

7.2.3 机柜门板、侧板应平整，无扭曲、无变形，工作时无明显抖动；门板开孔均匀，满足通风散热需求。

7.2.4 机柜应配置必要的通风和散热系统。机柜内构件安装应牢固可靠，并预留足够的维修空间，方便检修和维护；中压 FW-UPS 机柜需设置高压警示标识。

7.3 电气特性

电气特性应符合表2的规定。

表2 电气特性

序号	项目	中压交流FW-UPS	低压交流FW-UPS	直流800V FW-UPS
1	额定电压	10kV、10.5kV	AC 220V/380V/400V/415V (三相四线制)	DC 800V，电压偏差±5%
2	额定功率	50Hz/60Hz	50Hz/60Hz	—
3	运行效率	99% (市电正常，无稳压、功率因数校正、谐波校正) 98% (电能调节模式)	≥96% (在线模式) ≥97% (ECO节能模式)	≥98% (全负载区间)
4	响应时间	≤5ms	≤10ms	—
5	输入功率因数	≥0.98	≥0.95	≥0.98
6	输入电流谐波 (THDi)	≤3%	≤3%	≤3%
7	输出电压畸变率	<2% (电能调节模式) <1% (应急供电模式)	<3% (线性负载) <5% (非线性负载)	—
8	输入功率因数	≥0.98	≥0.95	≥0.98
9	备电时间	20s~30s (可根据备用电源启动时长配置)	满载≥15s~30s (可根据飞轮配置调整)	满载≥5s (主要响应补偿GPU功率波动)
10	过载能力	10倍10ms, 1.1倍15s	10倍10ms, 1.1倍15s	10倍10ms, 1.1倍15s
11	并机能力	支持N+X冗余	支持多机并机	支持并联扩容

7.4 飞轮本体

7.4.1 飞轮本体与机柜连接应牢固可靠，并应在柜内留有足够维修空间。

7.4.2 飞轮本体应设置相应抗震措施并满足 YD 5059—2005 中第5章的要求。

7.4.3 飞轮本体的壳体外表面应做喷涂防护层，喷涂颜色应均匀、附着力强，防护层不应有裂纹、流痕、针孔、斑点、气泡和附着物，防止锈蚀。

7.4.4 转子材料应优先采用高强钢或复合材料。飞轮运行环境真空度应维持不大于 10Pa，真空系统应能长期稳定运行。

7.4.5 飞轮本体应具备超速、失稳、过温等保护功能，出现异常时及时停机。

7.5 辅助系统

7.5.1 自动润滑系统

应符合以下要求：

- a) 自动润滑系统应能满足飞轮储能装置长期运行要求，润滑效果良好；
- b) 自动润滑系统的设备、管路及附件应易于更换和维修，具备润滑油液位监测和报警功能；
- c) 润滑油应具备良好的耐高温、抗磨损性能。

7.5.2 配电系统

应符合以下要求：

- a) 电气设备应满足 GB/T 5226.1-2019 中第 4 章的要求，绝缘性能良好，运行可靠；
- b) 电气设备安装及布线应符合 GB 50171-2012 中第 5、6 章要求，强弱电端子应分开布置；
- c) 铜排应采用绝缘支持件进行固定，保证铜排之间及铜排与其它部件之间的距离，铜排支持件应能承受装置的额定短时耐受电流和额定峰值耐受电流所产生的机械应力和热应力的冲击；
- d) 振动和由温度变化在铜排上产生的膨胀和收缩均不应影响铜排连接部位的特性；
- e) 铜排表面不应有锤痕、凹坑、毛刺和尖角等缺陷，采用专用铜排制作机具按图纸要求进行剪切、弯制、冲孔；
- f) 柜内制作的铜排应有明显的安全和功能标识；接地铜排上应预留接地螺栓孔，螺栓孔数量应满足柜内接地线接地需要；
- g) 中压系统的电力电子装置应具备高压绝缘、局放检测、过压保护等功能，符合中压电气设备运行要求。

7.5.3 监控系统

应符合以下要求：

- a) 监控模块应具备参数及状态监测功能，至少应包含飞轮运行状态、待机充电电压/电流、飞轮转速、放电电压/电流、输出功率、飞轮真空度、振动参数、运行日志、远程监控等参数和状态；
- b) 监控模块应能实时显示各项参数，出现异常时及时发出声光报警，并记录报警信息和故障日志；
- c) 应具备 RS232、RS485 等通讯接口，如需借助互联网实现远程监控，应具备 TCP/IP 标准通讯接口；
- d) 监控系统应能实现参数设置、远程控制、故障诊断、预测性维护等功能，可接入 DCIM 系统。

7.6 功能要求

7.6.1 零中断供电

FW-UPS应在市电中断或异常波动时实现毫秒级响应，切换或者补偿，保持服务器、网络设备等关键负载持续运行。

7.6.2 高电能质量输出

交流FW-UPS应输出纯净正弦波交流电，直流800V FW-UPS应输出稳定直流电压，纹波小。应具备稳压、稳频、滤谐波、抗浪涌、抗频率漂移等干扰能力，确保输出电能质量符合本文件7.3的要求。

7.6.3 高效节能

典型负载下效率应符合本文件7.3的要求。

7.6.4 智能管理与预测性维护

应符合以下要求：

- a) 实时监控电压、电流、频率、温度、湿度、飞轮转速、真空度、振动等参数；

- b) 支持 SNMP、Modbus 等协议，集成至 DCIM 系统，实现远程监控、参数设置、故障预警；
- c) 具备人工停运、检修旁路、过载、短路、过温、过湿、防雷、飞轮超速、磁轴承失稳、真空度超限等多重保护机制；
- d) 具备运行日志、报警日志、故障日志记录功能，日志保存时间不少于 1 年。

7.6.5 弹性扩展能力

飞轮储能装置应具备额定功率110%的过载能力，过载时间不低于15s。
采用模块化设计，支持在线热插拔扩容。容量配置应预留10%~30%冗余。

8 试验方法

8.1 试验条件

8.1.1 试验用仪器仪表

应符合以下要求：

- a) 型式试验时，用于测量下列电气参数的仪器仪表的准确度至少应为：
 - 1) 电流：0.5 级；
 - 2) 电压：0.5 级；
 - 3) 功率：0.5 级；
 - 4) 频率：0.5 级；
 - 5) 功率因数：0.5 级；
 - 6) 真空度：0.5 级；
 - 7) 振动：0.5 级。
- b) 出厂试验允许采用 1.0 级准确度的仪器仪表进行测量。

8.1.2 试验要求

应符合以下要求：

- a) 部件试验不应代替整机试验，所有试验均应在整机状态下进行；
- b) 试验可采用纯阻性负载，非线性负载试验可根据需方要求进行；
- c) 负载变化的等级为空载、25%、50%、75%、100%额定功率；
- d) 试验环境应符合本文件 7.1 的规定，特殊试验（如高低温、湿热）可根据试验项目要求调整环境参数。

8.2 通用试验项目及方法

8.2.1 外观检查

目测检查机柜外观、漆面、标识、构件安装情况，应符合本文件7.2的要求；检查接地情况，接地电阻应不大于4Ω。

8.2.2 绝缘试验

采用绝缘电阻测试仪，测量设备各电气部件之间、电气部件与外壳之间的绝缘电阻，绝缘电阻值应符合GB/T 5226.1-2019的要求。中压系统还需进行耐压试验，试验电压符合中压设备标准。

8.2.3 效率试验

在不同负载等级（25%、50%、75%、100%额定功率）下，测量输入功率和输出功率，计算系统效率，效率值应符合本文件7.3的要求。中压系统还应测量SST变流器效率。

8.2.4 稳压试验

调整输入电压在额定电压的±10%范围内变化，测量输出电压，记录输出电压变化值，稳压精度应符合本文件8.2的要求。

8.2.5 谐波试验

在额定负载下，测量输入电流谐波（THDi）和输出电压谐波（THDu），谐波含量应符合本文件7.3的要求。中压系统还应测量局放值。

8.2.6 切换时间试验

模拟市电中断和恢复，采用示波器测量切换时间，切换时间应符合本文件7.3的要求。

8.2.7 过载试验

在额定电压下，分别施加120%、150%、400%（中压）额定负载，测量系统运行状态，过载能力应符合本文件7.3的要求。
