

ICS 国际标准分类号
CCS 中国标准文献分类号



团 标 准

T/CES XXX-XXXX

飞轮储能电站涉网性能技术规范

Technical specifications for grid-interactive performance of flywheel energy storage power stations

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

目 次	I
前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 总体要求	4
5 涉网性能技术要求	4
5.1 有功功率控制	4
5.2 无功/电压控制	5
5.3 充/放电能力	5
5.4 一次调频	5
5.5 惯量响应	5
5.6 电能质量	5
5.7 故障穿越	6
5.8 电网适应性	6
6 涉网性能试验方法	6
6.1 涉网性能试验内容	6
6.2 有功功率控制能力试验	7
6.3 无功功率控制能力试验	7
6.4 充/放电能力试验	7
6.5 一次调频试验	8
6.6 惯量试验	8
6.7 电能质量试验	8
6.8 故障穿越试验	8
6.9 电压异常情况响应试验和电网频率适应性试验	9
7 涉网性能试验报告要求	9
7.1 基本信息	9
7.2 试验项目清单	10
7.3 试验设备及校准信息	10
7.4 详细试验记录	10
7.5 结论与建议	10
7.6 签字盖章	10
附 录 A (规范性) 飞轮储能电站典型架构	11
附 录 B (资料性) 飞轮储能电站涉网性能试验记录表	12

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》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会归口。

本文件起草单位：国网山东省电力公司电力科学研究院、西安交通大学、浙江大学、华北电力大学、华能山东发电有限公司、国网山西省电力公司电力科学研究院、北京奇峰聚能科技有限公司

本文件主要起草人：高嵩、刘恩仁、张萌、齐冬莲、李军、孙运涛、洪烽、闫云凤、李杰、陈郁林、程雪婷、蒋涛、王毓琦、路宽、于庆彬、曲建璋、于春浩、李元元、魏子杰。

本文件为首次发布。

飞轮储能电站涉网性能技术规范

1 范围

本文件规定了电力储能用飞轮储能电站的涉网性能技术要求及试验方法。

本文件适用于额定功率 100kW 及以上且储能时间不低于 10min 的飞轮储能电站，其他功率等级和储能时间的飞轮储能电站可参照执行。

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 12325 电能质量 供电电压偏差
- GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡
- GB/T 19862 电能质量 电能质量监测设备通用要求
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 31464 电网运行准则
- GB/T 36547 电化学储能系统接入电网技术规定
- GB/T 36548 电化学储能系统接入电网测试规范
- GB 38755 电力系统安全稳定导则
- GB/T 42313 电力储能系统术语
- GB/T 40595 并网电源一次调频技术规定及试验导则
- DL/T 2528 电力储能基本术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 飞轮储能 Flywheel energy storage

以飞轮为储能载体，通过动能和电能相互转换实现电能存储、释放的储能形式。

[来源：DL/T 2528-2022，4.4.1.1]

3.2 飞轮储能系统 Flywheel energy storage system

由一个或多个飞轮储能单元、飞轮储能变流器、飞轮管理系统和辅助设备构成，实现动能和电能相互转换的设备组合。

[来源：DL/T 2528-2022，4.4.1.2]

3.3 飞轮储能电站 Flywheel energy storage station

电能存储采用飞轮作为介质的储能电站，通常由若干个不同或相同类型的飞轮储能系统组成。

3.4 充电工况 Charge condition

飞轮储能电站以电动机方式运行，利用电能驱动飞轮转速升高，将电能转化为动能存储。

3.5 放电工况 Discharge condition

飞轮储能电站以发电机方式运行，利用高速飞轮驱动发电机发电，将存储的动能以电能形式释放。

3.6

待机工况 Ready condition

飞轮储能电站运行在工作转速区间，且转速保持不变，接收到控制信号即可投入运行。

3.7

充电/放电响应时间 Response time for charging/discharging

飞轮储能电站自收到控制信号起，由待机工况切换至充电/放电工况，至充电/放电功率首次达到额定功率的90%的时间。

3.8

充放电转换时间 Transfer time for charging/discharging

飞轮储能电站从 90% 额定功率充电/放电工况切换至 90% 额定功率放电/充电工况的时间。

3.9

一次调频 Primary frequency control

当电力系统频率偏离目标频率时，飞轮储能电站通过控制系统的自动反应，调整有功出力减少频率偏差的控制功能。

[来源：GB/T 40595-2021，3.1，有修改]

3.10

有功功率控制精度 Active power control accuracy

飞轮储能电站充（放）电过程中，有功功率稳态值与目标有功功率值之差的绝对值与目标有功功率值的比值，用百分数表示。

3.11

无功功率控制精度 Reactive power control accuracy

飞轮储能电站充（放）电过程中，无功功率稳态值与目标无功功率值之差的绝对值与目标无功功率值的比值，用百分数表示。

3.12

涉网性能试验 Grid-interactive performance test

为验证飞轮储能电站接入电力系统后的性能及安全性，开展的各项功能与参数测试的统称，包括有功/无功控制、一次调频、故障穿越等试验项目。

4 总体要求

4.1 飞轮储能电站应具备有功功率控制和无功功率控制等调节功能，具备接收并执行就地或电力调度机构发送功率控制指令的能力。

4.2 飞轮储能电站接入电网应符合电力系统安全稳定运行的要求，并满足 GB 38755、GB/T 31464 相关规定。

4.3 飞轮储能电站与电力调度机构之间的通信方式、传输通道和信息传输内容应满足 GB/T 31464 相关规定。

4.4 飞轮储能电站应在并网调试运行后 6 个月内完成涉网性能试验，包括电能质量试验、有功功率控制能力试验、无功/电压控制能力试验、惯量响应和一次调频试验、故障穿越能力仿真验证以及保障电力系统安全的其他试验。

4.5 飞轮储能电站涉网性能试验应由具备相应资质的检测机构进行，并在测试前 30 日内将测试方案报相应的电力调度机构备案。

4.6 影响飞轮储能电站涉网性能的相关部件在更换、改造、软件版本更新、逻辑或参数等优化后，应在完成后 6 个月内重新开展涉网性能试验。

4.7 飞轮储能电站应定期进行涉网性能复核试验，复核周期不宜超过 5 年，复核试验完成后应向电力调度机构提供试验报告。测试结果不满足要求的应重新试验。

5 涉网性能技术要求

5.1 有功功率控制

5.1.1 飞轮储能电站应具备就地和远程控制模式，具备充放电功率控制功能，能够执行电力调度机构下达的指令或预设的功率曲线。

5.1.2 飞轮储能电站的有功功率控制精度应不大于1%。

5.1.3 飞轮储能电站有功功率应在电站工作范围内连续可调，电站SOC及运行范围应由电力调度机构确定。

5.1.4 飞轮储能电站的充电/放电调节时间应不大于100ms。

5.1.5 飞轮储能电站应具备自动发电控制（AGC）指令响应能力，自动调节有功功率，调节速率、调节精度及响应时间应满足电力调度机构的相关规定。

5.1.6 飞轮储能电站一次调频响应与AGC相协调，储能电站有功功率的控制目标应为AGC指令值与一次调频响应调节量代数和。

5.2 无功/电压控制

5.2.1 飞轮储能电站应具备就地和远程控制功能，具备功率因数、无功功率和电压控制功能，能够调整控制模式、无功功率/电压设定值，以及无功功率曲线等参数。

5.2.2 飞轮储能电站的无功功率和电压调节功能应优先于功率因数调节功能。

5.2.3 飞轮储能电站的无功功率控制精度应不大于3%。

5.2.4 飞轮储能电站应具备自动电压控制（AVC）指令响应能力，自动调节无功功率/电压，调节速率、调节精度及响应时间应满足电力调度机构的相关规定。

5.3 充/放电能力

5.3.1 飞轮储能电站的额定充/放电功率应不小于标称的额定充/放电功率。

5.3.2 飞轮储能电站在待机工况的损耗应不大于额定功率的5%。

5.3.3 飞轮储能电站的额定功率能量转换效率应不低于85%。

5.3.4 飞轮储能电站的充电/放电响应时间应不大于100ms。

5.3.5 飞轮储能电站的充放电转换时间应不大于200ms。

5.4 一次调频

5.4.1 飞轮储能电站在充电及放电工况下均应具备一次调频能力。

5.4.2 飞轮储能电站一次调频死区设置应不大于 $\pm 0.05\text{Hz}$ 。

5.4.3 飞轮储能电站一次调频调差率应不大于3%。

5.4.4 飞轮储能电站一次调频功率变化幅度应不小于 $\pm 50\%$ 额定有功功率。

5.4.5 飞轮储能电站一次调频阶跃试验中，一次调频动态性能应满足下列规定：

- a) 一次调频响应滞后时间不大于900ms；
- b) 一次调频上升时间不大于3s；
- c) 一次调频调节时间不大于4s；
- d) 达到稳定时的有功功率调节偏差不大于额定充/放电有功功率的 $\pm 1\%$ ；
- e) 一次调频有功功率超调量应不大于30%，振荡次数应不大于2次。

5.4.6 存在频率振荡风险的电力系统，飞轮储能电站的一次调频性能指标应根据电网稳定需求确定。

5.4.7 当电力系统频差超出一次调频死区时，飞轮储能电站的一次调频功能应闭锁AGC反向调节指令。

5.5 惯量响应

飞轮储能电站应具备惯量响应能力，其能力应符合GB/T 36547的相关规定。

5.6 电能质量

5.6.1 谐波及间谐波

- a) 飞轮储能电站接入并网点的谐波电压和谐波电流应不超过GB/T 14549的相关规定。
- b) 飞轮储能电站接入并网点的间谐波应不超过GB/T 24337的相关规定。

5.6.2 飞轮储能电站接入并网点的电压偏差应不超过GB/T 12325的相关规定。

5.6.3 飞轮储能电站接入并网点的电压波动和闪变值应不超过GB/T 12326的相关规定。

5.6.4 飞轮储能电站接入并网点的三相电压不平衡度应不超过GB/T 15543的相关规定。

5.6.5 飞轮储能电站宜配备符合GB/T 19862相关规定的电能质量实时监测装置。

5.7 故障穿越

5.7.1 无故障穿越要求的飞轮储能电站应满足表1的电压异常情况响应要求。

表1 飞轮储能电站对电压异常情况响应要求

电压范围 (U)	响应要求
$U < 50\% U_N$	飞轮储能电站不应处于充电状态。并网点电压持续0.2s以上低于50% U_N 时，飞轮储能电站应与电网断开连接
$50\% U_N \leq U < 85\% U_N$	飞轮储能电站不宜处于充电状态。若并网点电压持续2s以上位于 $50\% U_N \leq U < 85\% U_N$ 区间时，飞轮储能电站应与电网断开连接
$85\% U_N \leq U \leq 110\% U_N$	正常运行
$110\% U_N < U \leq 120\% U_N$	飞轮储能电站不宜处于放电状态。并网点电压持续2s以上位于 $110\% U_N < U \leq 120\% U_N$ 区间时，飞轮储能电站应与电网断开连接
$U > 120\% U_N$	飞轮储能电站不应处于放电状态。并网点电压持续0.2s以上高于120% U_N 时，飞轮储能电站应与电网断开连接

注： U_N 为飞轮储能电站并网点的额定电压。

5.7.2 具有故障穿越要求的飞轮储能电站应具备高低电压故障穿越能力，穿越期间的特性和支撑能力应满足GB/T 36547的相关要求。

5.8 电网适应性

接入电网的飞轮储能电站应满足表2的频率运行要求。

表2 接入电网的飞轮储能电站的频率运行要求

频率范围 (U)	运行要求
$f < 46.5\text{Hz}$	飞轮储能电站不应处于充电状态，应根据电力调度机构要求与电网断开连接
$46.5\text{Hz} \leq f < 48.5\text{Hz}$	飞轮储能电站应在300ms内转为放电状态，并持续放电
$48.5\text{Hz} \leq f \leq 50.5\text{Hz}$	飞轮储能电站正常运行
$50.5\text{Hz} < f \leq 51.5\text{Hz}$	飞轮储能电站应在300ms内转为充电状态，并持续充电
$f > 51.5\text{Hz}$	飞轮储能电站不应处于放电状态，应根据或电力调度机构要求与电网断开连接

注：f 为飞轮储能电站并网点的频率。

6 涉网性能试验方法

6.1 涉网性能试验内容

飞轮储能电站涉网性能试验内容包括但不限于以下内容：

- a) 有功功率控制能力试验。
- b) 无功功率/电压控制能力试验。
- c) 充/放电能力试验。
- d) 一次调频试验。
- e) AGC、AVC试验。
- f) 电能质量试验。

g) 电力调度机构认为保障电力系统安全所必需的其他试验。

6.2 有功功率控制能力试验

6.2.1 飞轮储能电站的有功功率控制能力试验工况应包括充电工况及放电工况。

6.2.2 飞轮储能电站的有功功率输出从电站运行区间上限降到运行区间下限，每次降幅为20%额定功率，在每个控制点持续运行30s；随后有功功率从运行区间下限上升至运行区间上限，每次升幅为20%额定功率，在每个控制点持续运行30s。

6.2.3 取三次试验有功功率控制精度最大的一次实验结果，作为飞轮储能电站的有功功率控制精度。

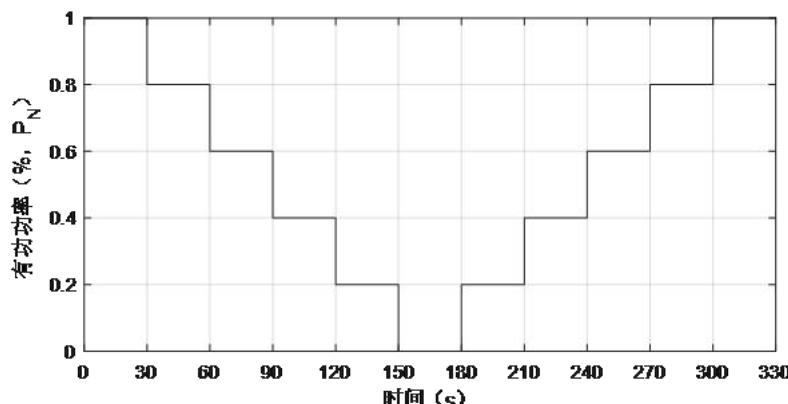


图1 飞轮储能电站有功功率控制能力试验过程

6.3 无功功率控制能力试验

6.3.1 飞轮储能电站的无功功率控制能力试验工况应包括充电工况及放电工况。

6.3.2 飞轮储能电站的有功功率输出从电站运行区间上限降到运行区间下限，每次降幅为20%额定功率，在每个控制点调节最大储能电站运行在输出最大感性无功功率工作模式；随后有功功率从运行区间下限上升至运行区间上限，每次升幅为20%额定功率，在每个控制点调节最大储能电站运行在输出最大容性无功功率工作模式。

6.3.3 取三次试验无功功率控制精度最大的一次实验结果，作为飞轮储能电站的无功功率控制精度。

6.4 充/放电能力试验

6.4.1 充/放电响应时间试验

a) 飞轮储能电站充/放电响应时间试验应在待机工况下进行。

b) 从飞轮储能电站监控系统或者调度系统分别发送额定功率充电和额定功率放电指令，记录试验过程中首次达到额定功率的90%的时间。

6.4.2 充/放电转换时间试验

a) 飞轮储能电站充/放电转换时间试验应分别在充电/放电工况下以90%额定功率运行时进行。

b) 在充电工况下以90%额定功率运行时，发送90%额定功率放电指令，记录试验过程中首次达到90%额定放电功率的时间；在放电工况下以90%额定功率运行时，发送90%额定功率充电指令，记录试验过程中首次达到90%额定充电功率的时间。

6.4.3 额定能量效率试验

a) 飞轮储能电站额定能量效率试验应分别在充电/放电工况下以额定功率运行时进行。额定能量效率为额定放电量与额定充电量的比值。

b) 在额定功率放电工况时，以额定功率充电至充电终止条件时停止充电，记录本过程的额定充电量；进而以额定功率放电至放电终止条件时停止放电，记录本过程的额定放电量，计算本次试验的额定能量效率。

c) 在额定功率充电工况时，以额定功率放电至放电终止条件时停止放电，记录本过程的额定放电量；进而以额定功率充电至充电终止条件时停止充电，记录本过程的额定充电量，计算本次试验的额定能量效率。

d) 飞轮储能电站额定能量效率为充电工况和放电工况下试验结果的平均值。

6.4.4 紧急功率支撑能力试验

- a) 紧急功率支撑能力试验应分别在充电/放电工况下以50%额定功率运行时进行。
- b) 通过紧急功率支撑能力试验，获得储能电站从接到功率指令到切换至最大功率充（放）电的时间、最大充（放）电功率以及支撑时间。
- c) 从储能电站监控系统或者调度系统发送紧急功率支撑指令，紧急功率支撑指令持续时间至少保持有功功率达到最大后2min。

6.5 一次调频试验

6.5.1 一次调频试验工况应至少包括充电和放电工况下的高负荷和低负荷情况。

6.5.2 一次调频试验包括死区试验、动态性能试验及限幅试验。

6.5.3 一次调频死区试验

通过连续模拟飞轮储能电站频差信号，测试一次调频死区，直至有功功率开始规律性调节。

6.5.4 一次调频动态性能试验

通过频差阶跃试验获得一次调频响应滞后时间、上升时间以及调节时间。

每个工况阶跃试验至少包含 $\pm 0.05\text{Hz}$ 、 $\pm 0.15\text{Hz}$ 、 $\pm 0.2\text{Hz}$ 的频差阶跃，最大频差阶跃宜不大于 $\pm 0.25\text{Hz}$ ，频差阶跃的持续时间应至少保持至有功功率达到稳定后30s。

6.5.5 一次调频限幅试验

最大调节幅度试验应选择充电以及放电工况下的高负荷和低负荷工况下进行。

6.6 惯量试验

飞轮储能电站惯量试验应按照GB/T 30547的相关规定进行试验。

6.7 电能质量试验

6.7.1 飞轮储能电站电能质量试验应在充电和放电工况下以额定功率运行时进行试验。

6.7.2 飞轮储能电站电能质量试验包括谐波及间谐波试验、电压偏差试验、电压波动和闪变试验、电压不平衡度试验。

6.7.3 谐波及间谐波试验

飞轮储能电站谐波试验应按照GB/T 14549的相关规定进行试验，记录每次试验时的25次谐波电流值、电压总谐波畸变率和奇偶次谐波电压含有率。间谐波试验应按照GB/T 24337的相关规定进行试验，记录每次试验时的间谐波电压含有率。

6.7.4 电压偏差试验

飞轮储能电站电压偏差试验应按照GB/T 12325的相关规定进行试验，记录每次试验时的电压偏差。

6.7.5 电压波动和闪变试验

飞轮储能电站电压波动和闪变试验应按照GB/T 12326的相关规定进行试验，记录试验过程中的电压波动值和闪变值。

6.7.6 电压不平衡度试验

飞轮储能电站电压不平衡度试验应按照GB/T 15543的相关规定进行试验，记录试验过程中的电压不平衡度。

6.8 故障穿越试验

飞轮储能电站的故障穿越试验应按照 GB/T 36548 的相关规定进行试验。

6.9 电压异常情况响应试验和电网频率适应性试验

6.9.1 电压异常情况响应试验

6.9.1.1 试验准备

- a) 关闭与被测飞轮储能电站共享同一条母线的其他所有储能系统。
- b) 调整电网模拟装置，使被测飞轮储能电站在标称电压和额定频率下运行。

6.9.1.2 放电状态下的电压异常情况响应测试

- c) 将飞轮储能电站设置为放电状态，并启动系统。
- d) 设置储能系统的有功功率输出不低于其额定功率的0.7倍。
- e) 调节电网模拟装置的电压从 U_N ，分别阶跃至50% U_N 、85% U_N ，和50% U_N ~85% U_N ，之间的任意值保持至少10min后恢复到 U_N ，分别记录飞轮储能电站测试点电压，查看并记录储能系统运行状态。

f) 调节电网模拟装置的电压从 U_N ，分别阶跃至110% U_N 、120% U_N ，和110% U_N ~120% U_N ，之间的任意值保持至少10min后恢复到 U_N ，分别记录飞轮储能电站测试点电压，查看并记录储能系统运行状态。

6.9.1.3 充电状态下的电压异常情况响应测试

- g) 将飞轮储能电站从放电状态切换到充电状态。
- h) 按照之前放电状态下的测试步骤c) 至f)，重新进行电压异常情况响应测试，但此时飞轮储能电站处于充电状态。并记录每个阶段下储能系统的运行状态。

6.9.2 电网频率适应性试验

6.9.2.1 试验准备

- a) 关闭与被测飞轮储能电站共享同一条母线的其他所有储能系统。
- b) 调整电网模拟装置，使被测飞轮储能电站在标称电压和额定频率下运行。关闭飞轮储能电站的一次调频和惯量响应功能。

6.9.2.2 放电状态下的频率适应性测试

- c) 将飞轮储能电站设置为放电状态，并启动系统。
- d) 设置储能系统的有功功率输出不低于其额定功率的0.7倍。
- e) 调节电网模拟装置，使电网频率从50Hz逐步降低至48.5Hz，并维持该频率1分钟。再将频率调回至50Hz，并记录整个过程中储能系统的运行状态。
- f) 调节电网模拟装置，使电网频率从50Hz逐步降低至46.2Hz，并维持该频率1分钟。再将频率调回至50Hz，并记录整个过程中储能系统的运行状态。
- g) 调节电网模拟装置，使电网频率从50Hz逐步升高至51.5Hz，并维持该频率1分钟。再将频率调回至50Hz，并记录整个过程中储能系统的运行状态。
- h) 调节电网模拟装置，使电网频率从50Hz逐步升高至51.7Hz，并维持该频率1分钟。再将频率调回至50Hz，并记录整个过程中储能系统的运行状态。

6.9.2.3 充电状态下的频率适应性测试

- i) 将飞轮储能电站从放电状态切换到充电状态。
- j) 按照之前放电状态下的测试步骤c) 至h)，重新进行频率适应性测试，但此时飞轮储能电站处于充电状态。并记录每个频率变化阶段下储能系统的运行状态。

7 涉网性能试验报告要求

7.1 基本信息

- a) 电站名称、地址、并网电压等级、装机容量。
- b) 飞轮储能电站制造商、型号、数量、单机额定功率。
- c) 试验单位名称、资质证书编号。
- d) 试验日期、环境温度、湿度。
- e) 试验依据标准（本标准编号及引用文件）。

7.2 试验项目清单

- a) 列出所有完成的涉网性能试验项目，并标注是否符合标准要求。
- b) 说明未完成项目的原因，例如设备限制、电网条件不满足等。

7.3 试验设备及校准信息

- a) 测试仪器清单，包括型号、精度、校准有效期。
- b) 数据采集系统采样率。
- c) 传感器安装位置说明，例如并网点等。

7.4 详细试验记录

- a) 每个试验项目的原始数据、测试波形、计算过程。
- b) 试验过程中的异常记录（如有）。

7.5 结论与建议

- a) 总体结论（通过/不通过）。
- b) 改进建议，例如参数优化、设备维护等。

7.6 签字盖章

测试负责人、电站业主代表、监理单位（如有）签字确认。

附录 A
(规范性)
飞轮储能电站典型架构

A.1 飞轮储能电站典型架构

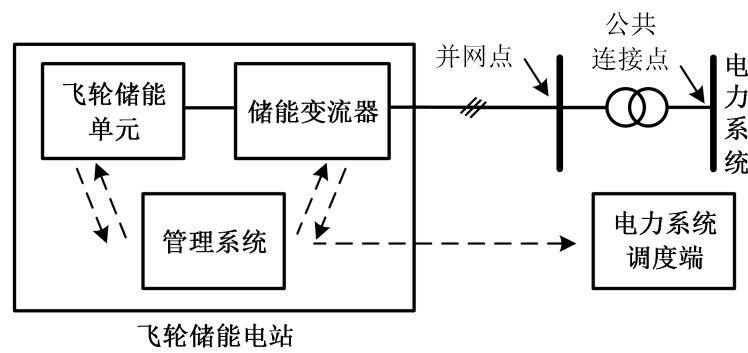


图 A.1 飞轮储能电站典型架构

附录 B
(资料性)
飞轮储能电站涉网性能试验记录表

B. 1 飞轮储能电站涉网性能试验记录表

表 B. 1 试验项目记录表

试验项目	是否完成(如否请注明原因)	是否合格
有功功率控制		
无功功率/电压控制		
充/放电能力		
一次调频		
电能质量		
故障穿越		
电压异常情况响应和电网频率适应性		
其他试验(如适用)		

表 B. 2 测试设备信息表

设备名称	型号	精度	校准有效期

表 B. 3 一次调频试验数据记录表

频率阶跃	响应滞后时间	上升时间	调节时间	超调量	结论

表 B. 4 电能质量试验数据

参数	标准限值	充电工况实测值	放电工况实测值	结论

表 B. 5 电压异常情况响应试验数据

电压异常场景	响应时间	动作结果	结论

--	--	--	--

表 B.6 电网频率适应性试验数据

频率变化场景	响应动作	延迟时间	结论

表 B.7 试验人员签字表

角色	签字	日期