

ICS 27.180
CCS F 19



中华人民共和国国家标准

GB/T 46372—2025

飞轮储能电站调试导则

Guide for commissioning flywheel energy storage power stations

2025-10-31 发布

2026-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总体要求	2
5 分系统调试	3
6 联合调试	12
附录 A (资料性) 调试记录	24
附录 B (资料性) 调试报告	25



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。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国电力储能标准化技术委员会(SAC/TC 550)归口。

本文件起草单位：国家能源集团宁夏电力有限公司、华驰动能(北京)科技有限公司、华北电力大学、华北电力科学研究院有限责任公司、中国电力企业联合会、国家能源集团山东电力有限公司、华能内蒙古蒙东新能源有限公司、国网内蒙古东部电力有限公司、国网经济技术研究院有限公司、中国电力科学研究院有限公司、国网山东省电力公司电力科学研究院、华电山西能源有限公司、中国电建华东勘测设计研究院有限公司、天津陈塘热电有限公司、国家电网有限公司华北分部、国电南京自动化股份有限公司、沈阳微控飞轮技术股份有限公司、国网内蒙古东部电力有限公司电力科学研究院、国能智深控制技术有限公司。

本文件主要起草人：梁志宏、王志强、房方、黄天啸、李云凝、王绍民、苏森、刘华东、雷春民、黄松涛、赵天骐、彭龙、周利鹏、姜文、荣经国、李飞、张国兴、刘瑛琳、李军、尚国政、于大海、刘少龙、李宁、郑应霞、於震跃、石硕、吕游、卜丽军、董恩雷、柳玉、李磊、蒋衍君、丁明进、任政君、唐峻杰、陈肖璐、郑博文、齐祥柏、陈峰、牛海明、刘伟岸。



飞轮储能电站调试导则

1 范围

本文件规定了飞轮储能电站的分系统和整站联合调试的项目和方法。

本文件适用于新建、改建、扩建的飞轮储能电站的调试工作。

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 156 标准电压
- GB/T 1980 标准频率
- GB/T 7261 继电保护和安全自动装置基本试验方法
- 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 14285 继电保护和安全自动装置技术规程
- 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 19582.1 基于 Modbus 协议的工业自动化网络规范 第 1 部分:Modbus 应用协议
- GB/T 20297 静止无功补偿装置(SVC)现场试验
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 26862 电力系统同步相量测量装置检测规范
- GB/T 30137 电能质量 电压暂升、电压暂降与短时中断
- GB/T 33602 电力系统通用服务协议
- GB/T 37546 无人值守变电站监控系统技术规范
- GB/T 40595 并网电源一次调频技术规定及试验导则
- GB/T 44933—2024 电力储能用飞轮储能系统技术规范
- GB/T 44934 电力储能用飞轮储能单元技术规范
- GB 50054 低压配电设计规范
- GB 50147 电气装置安装工程 高压电器施工及验收规范
- GB 50148 电气装置安装工程 电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范
- GB 50149 电气装置安装工程 母线装置施工及验收规范
- GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准
- GB 50168 电气装置安装工程 电缆线路施工及验收标准
- GB 50171 电气装置安装工程 盘、柜及二次回路接线施工及验收规范
- GB 50172 电气装置安装工程 蓄电池施工及验收规范
- GB 50233 110 kV~750 kV 架空输电线路施工及验收规范
- GB 50254 电气装置安装工程 低压电器施工及验收规范

- DL/T 317 继电保护设备标准化设计规范
DL/T 516 电力调度自动化运行管理规程
DL/T 527 继电保护及控制装置电源模块(模块)技术条件
DL/T 540 气体继电器检验规程
DL/T 544 电力通信运行管理规程
DL/T 587 继电保护和安全自动装置运行管理规程
DL/T 618 气体绝缘金属封闭开关设备现场交接试验规程
DL/T 634.5104 远动设备及系统 第5-104部分:传输规约 采用标准传输协议集的IEC 60870-5-101 网络访问
DL/T 667 远动设备及系统 第5部分:传输规约 第103篇:继电保护设备信息接口配套标准
DL/T 687 微机型防止电气误操作系统通用技术规范
DL/T 719 远动设备及系统 第5部分:传输规约 第102篇:电力系统电能累计量传输配套标准
DL/T 860.10 电力自动化通信网络和系统 第10部分:一致性测试
DL/T 995 继电保护和电网安全自动装置检验规程
DL/T 1101 35 kV~110 kV 变电站自动化系统验收规范
DL/T 1215.4 链式静止同步补偿器 第4部分:现场试验
DL/T 1379 电力调度数据网设备测试规范
DL/T 1455 电力系统控制类软件安全性及其测评技术要求
DL/T 2253 发电厂继电保护及安全自动装置技术监督导则
DL/T 2528 电力储能基本术语
DL/T 5003 电力系统调度自动化设计规程
DL/T 5044 电力工程直流电源系统设计技术规程
DL/T 5202 电能量计量系统设计规程

3 术语和定义

DL/T 2528、GB/T 44933—2024 及 GB/T 44934 界定的术语和定义适用于本文件。

4 总体要求

- 4.1 飞轮储能电站调试包括分系统调试和联合调试,联合调试在分系统调试完成后进行。
- 4.2 飞轮储能电站调试前所有设备应正确完成安装工作。
- 4.3 现场临时供电设备的电压和频率应符合 GB/T 156 和 GB/T 1980 的规定,容量满足调试要求。
- 4.4 飞轮储能电站调试前应编制调试大纲、调试方案和应急预案。
- 4.5 调试人员应熟悉飞轮储能电站设备的工作原理及结构、调试工序、调试质量标准和安全工作要求,能正确使用工具、仪器仪表和安全防护设备。
- 4.6 飞轮储能电站调试所用工具、仪器仪表和安全防护设备均应检验校准合格,并在有效期内。
- 4.7 分系统调试包括飞轮储能系统、变配电系统、继电保护及安全自动装置、监控系统、通信与自动化系统、站用电源等调试项目,飞轮储能系统调试分为静态调试和动态调试。
- 4.8 联合调试包括启动/停机、并网、有功功率调节能力、无功功率调节能力、充/放电功能、故障电压穿越、电网适应性、过载能力、一次调频、惯量响应、自动发电控制(AGC)、电能质量、额定充放电能量及充放电循环效率等调试项目。

4.9 飞轮储能电站联合调试前应向电网调度机构提出申请,经批准后实施。

4.10 飞轮储能电站调试过程中应进行记录,调试记录内容见附录 A,调试完成后应编制调试报告,调试报告内容见附录 B。

5 分系统调试

5.1 飞轮储能系统

5.1.1 飞轮储能系统静态调试

5.1.1.1 飞轮储能单元

5.1.1.1.1 绝缘电阻

绝缘电阻测试按以下步骤进行:

- 断开飞轮储能单元与飞轮储能机侧变流器的电气连接;
- 测量电极端子与保护接地之间的绝缘电阻和电极端子之间的绝缘电阻并记录;
- 恢复飞轮储能单元与飞轮储能变流器电气连接。

5.1.1.1.2 真空装置

真空装置调试按以下步骤进行:

- 启动真空装置,抽真空;
- 检查真空泵无异响,排气口工作正常;
- 关闭真空装置,观测真空度数值无明显下降;
- 启动真空装置,记录稳定后的真空度数值,确认真空度数值满足 GB/T 44934 的要求;
- 关闭真空装置。

5.1.1.1.3 磁轴承

磁轴承调试按以下步骤进行:

- 解除飞轮储能本体锁紧装置;
- 接通磁轴承电源,完成自检;
- 复核磁轴承静态悬浮位置,偏离设计中心的位移不超过保护轴承与轴颈之间径向间隙的 20%;
- 通过人机交互界面对磁轴承下达下落指令,确认转子处于下落状态。

5.1.1.1.4 风冷装置

风冷装置调试按以下步骤进行:

- 启动风冷装置,确认风冷装置能按控制要求可靠启动,风冷装置扇叶旋转正常,无异响,出风口气流稳定;
- 关闭风冷装置,确认风冷装置能按控制要求可靠停止。

5.1.1.1.5 液冷装置

液冷装置调试按以下步骤进行:

- 检查冷却液储罐内的液位或膨胀罐的压力在规定范围内;
- 启动液冷装置,确认液冷装置能按控制要求启动,压缩机和水泵连续平稳运行,冷却风扇转动正常,出风稳定,无异味,连接管路无渗漏;

- c) 观察液冷装置上的压力和温度显示读数处于正常范围内,进出水温度有明显温差;
- d) 关闭液冷装置,确认液冷装置能按控制要求停止。

5.1.1.2 飞轮储能变流器

5.1.1.2.1 绝缘电阻

绝缘电阻测试按以下步骤进行:

- a) 断开储能变流器交直流侧开关;
- b) 断开储能变流器与外部接线,断开压敏电阻等过电压保护器件;
- c) 测试储能变流器各独立电路之间的绝缘电阻,记录检测值;
- d) 恢复储能变流器的外部接线及过电压保护器件的连接。

5.1.1.2.2 报警

报警功能调试按以下步骤进行:

- a) 启动储能变流器,确认储能变流器控制逻辑和保护定值设置满足设备本体保护技术要求;
- b) 断开飞轮储能机侧变流器和飞轮储能网侧变流器通信连接,记录飞轮储能变流器通信故障报警信息;
- c) 恢复飞轮储能机侧变流器和飞轮储能网侧变流器通信连接,报警信号消失;
- d) 断开飞轮储能机侧变流器和飞轮储能单元通信连接,记录飞轮储能机侧变流器通信故障报警信息;
- e) 恢复飞轮储能机侧变流器和飞轮储能单元通信连接,报警信号消失;
- f) 分别模拟缺相、相序错误、直流过压、直流欠压、交流过压、交流过压、直流过流、交流过流、短路等故障,确认飞轮储能变流器发出报警并下达停机指令;
- g) 清除模拟故障信号并复位,关闭储能变流器。

5.1.1.2.3 保护

5.1.1.2.3.1 高电压保护

高电压保护功能调试按以下步骤进行:

- a) 启动储能变流器,确认储能变流器控制逻辑和保护定值设置在出厂设计值范围内;
- b) 在飞轮储能变流器交流输出端施加模拟信号,模拟电网过电压,确认飞轮储能变流器本地监控装置上查看保护动作正确。

5.1.1.2.3.2 低电压保护

低电压保护功能调试按以下步骤进行:

- a) 启动储能变流器,确认储能变流器控制逻辑和保护定值设置在出厂设计值范围内;
- b) 在飞轮储能变流器交流输出端施加模拟信号,模拟电网欠压,确认飞轮储能变流器本地监控装置上查看保护动作正确。

5.1.1.2.3.3 频率异常保护

频率异常保护功能调试按以下步骤进行:

- a) 启动储能变流器,确认储能变流器控制逻辑和保护定值设置在出厂设计值范围内;
- b) 在飞轮储能变流器交流输出端施加模拟信号,模拟电网频率异常,确认飞轮储能变流器本地监控装置上查看保护动作正确。

5.1.1.2.3.4 非计划孤岛保护

非计划孤岛保护功能调试按以下步骤进行：

- a) 启动储能变流器,确认储能变流器控制逻辑和保护定值设置在出厂设计值范围内;
- b) 通过断开储能变流器并网开关模拟电网故障,确认储能变流器防孤岛保护动作并报警;
- c) 闭合储能变流器并网开关,确认防孤岛保护报警信号消失。

5.1.1.3 飞轮储能辅助系统

5.1.1.3.1 安全保护接地

安全保护接地测试按以下步骤进行：

- a) 断开飞轮储能系统控制电源;
- b) 断开飞轮储能系统等电位联结与主接地网之间的连接,测量等电位联结与主接地网之间的接地电阻,记录测量结果;
- c) 恢复飞轮储能系统等电位联结与主接地网之间的连接;
- d) 闭合飞轮储能系统控制电源开关。

5.1.1.3.2 紧急制动装置

紧急制动装置测试按以下步骤进行：

- a) 断开紧急制动装置与飞轮储能系统的连接;
- b) 测量并记录紧急制动装置阻值,确认测量值与标称值一致;
- c) 恢复紧急制动装置与飞轮储能系统接线。

5.1.1.3.3 辅助电源

辅助电源调试按以下步骤进行：

- a) 主电源供电正常,启动飞轮储能系统,无异常报警信息;
- b) 确认辅助电源控制为自动切换状态;
- c) 中断主电源供电,确认影响飞轮储能单元安全稳定运行的重要负荷切换至备用电源供电模式;
- d) 恢复主电源供电,确认辅助电源切换回外部供电模式。

5.1.1.4 飞轮储能管理系统

5.1.1.4.1 采集与通信

采集与通信功能调试按以下步骤进行：

- a) 启动飞轮储能管理系统,检查各通信接口连接正确,确认飞轮储能单元和飞轮储能变流器无异常报警;
- b) 观察飞轮储能管理系统人机界面功能工作正常,确认飞轮储能单元与飞轮储能变流器的初始运行参数、保护参数、事件记录等信息显示正确;
- c) 通过飞轮储能管理系统下发控制指令,确认飞轮储能单元与飞轮储能变流器接收通信信息正常。

5.1.1.4.2 控制

控制功能调试按以下步骤进行：

- a) 切换飞轮储能管理系统控制模式为本地模式;

- b) 通过飞轮储能管理系统向磁轴承下发表上浮/落下指令,确认飞轮储能管理系统人机界面磁轴承径向振动幅值信息和轴向振动幅值信息显示发生变化;
- c) 启动真空泵,确认飞轮储能管理系统人机界面真空度数值信息显示发生变化;
- d) 通过飞轮储能管理系统向紧急制动装置的断路器下发表合/分闸指令,确认断路器开关状态响应正确;
- e) 通过飞轮储能管理系统分别对飞轮储能机侧变流器及飞轮储能网侧变流器下发表启/停指令,确认飞轮储能机侧变流器及飞轮储能网侧变流器控制指令接收正确。

5.1.1.4.3 报警

报警功能调试按以下步骤进行:

- a) 启动飞轮储能单元和飞轮储能管理系统,确认无报警信息;
- b) 断开冷却系统的信号连接,确认飞轮储能系统发出冷却系统通信中断报警;
- c) 恢复冷却系统信号连接,通过飞轮储能管理系统向飞轮储能系统下达故障复位指令,确认报警解除;
- d) 关闭真空装置,打开放气阀,破坏真空状态,确认飞轮储能系统发出真空度异常报警;
- e) 关闭放气阀,启动真空装置,恢复真空状态,通过飞轮储能管理系统向飞轮储能系统下达故障复位指令,确认报警解除。

5.1.2 飞轮储能系统动态调试

5.1.2.1 启停

飞轮储能系统的启停机功能调试按以下步骤进行:

- a) 启动飞轮储能管理系统,复核飞轮转子振动超限、飞轮转子超速、轴承超温、飞轮转子超温、飞轮储能单元温度报警、真空度报警、直流过/欠压、交流过/欠压、直流过流、交流过流的保护定值在出厂设计值范围内;
- b) 通过飞轮储能管理系统向飞轮储能系统下达启动指令,确认飞轮达到额定工作转速范围;
- c) 调整飞轮储能单元转速上升至飞轮工作转速下限,保持在飞轮工作转速下限恒转速,持续时间2 min以上;
- d) 通过飞轮储能管理系统向飞轮储能系统下达停机指令;
- e) 调试过程中,观察并采集记录下列信息:
 - 飞轮储能单元运行转速、能量、电压、电流、温度、真空度等;
 - 飞轮储能变流器运行交流电压、交流电流、直流电压、网侧频率、机侧频率、交流端口有功功率、交流端口无功功率、异常报警及故障等;
 - 飞轮储能系统运行充电能量、放电能量、能量状态、有功功率、无功功率、异常报警及故障信息等。



5.1.2.2 报警保护

飞轮储能系统报警保护功能调试按以下步骤进行。

- a) 通过飞轮储能管理系统向飞轮储能系统下达启动指令,确认飞轮达到额定工作转速范围。
- b) 控制飞轮储能单元转速上升至飞轮工作转速范围内,通过飞轮储能管理系统对紧急制动装置下达紧急制动指令,确认紧急制动装置正确制动,断开紧急制动装置。
- c) 控制飞轮储能单元转速上升至飞轮工作转速范围内,下调转速保护阈值至报警值,确认飞轮储能系统发出超速报警;继续下调转速保护阈值,确认飞轮储能系统进入故障保护状态,保护动

作正确响应；下达故障复位指令，解除故障保护状态。

- d) 通过飞轮储能管理系统下调温度保护阈值至报警值，确认飞轮储能系统发出超温报警；继续下调温度保护阈值，确认飞轮储能系统进入故障保护状态，保护动作正确响应；下达故障复位指令，解除故障保护状态。
- e) 通过飞轮储能管理系统下调真空度保护阈值至报警值，确认飞轮储能系统发出报警；继续下调真空度保护阈值，确认紧急制动装置制动；下达故障复位指令，解除故障保护状态。
- f) 通过飞轮储能管理系统下调磁轴承振动保护阈值至报警值报警阈值，确认飞轮储能系统发出报警；继续下调磁轴承振动保护阈值，确认紧急制动装置制动；下达故障复位指令，解除故障保护状态。
- g) 调用飞轮储能管理系统存储的温度、转速、振动、真空度、故障报警等数据，确认数据正确。

5.1.2.3 转速控制

飞轮储能系统转速控制调试按以下步骤进行：

- a) 通过飞轮储能管理系统向飞轮储能系统下达启动指令，确认飞轮储能单元转速上升至飞轮工作转速范围内；
- b) 通过飞轮储能管理系统设置飞轮储能系统为转速控制模式，逐级设置飞轮储能单元目标转速，控制飞轮储能单元升速至目标值，保持每个目标转速值恒转速运行 10 min；
- c) 通过飞轮储能管理系统向飞轮储能系统下达停机指令；
- d) 调试过程中，观察并记录采集下列信息：
 - 飞轮储能单元运行转速、能量、电压、电流、温度、真空度等；
 - 飞轮储能变流器运行交流电压、交流电流、直流电压、网侧频率、机侧频率、交流端口有功功率、交流端口无功功率、异常报警及故障等；
 - 飞轮储能系统运行充电能量、放电能量、能量状态、有功功率、无功功率、异常报警及故障信息等。

5.1.2.4 功率控制

飞轮储能系统功率控制调试按以下步骤进行：

- a) 通过飞轮储能管理系统向飞轮储能系统下达启动指令，飞轮储能单元转速上升至飞轮工作转速范围内；
- b) 通过飞轮储能管理系统下达功率控制指令，功率值分别设置为 P_N 、 $-P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $-0.5P_N$ 、 $0.2P_N$ 、 $-0.2P_N$ ，每个功率值持续运行 1 min 或达到工作转速上限/下限，有功功率偏差满足 GB/T 44933—2024 的要求；
- c) 通过飞轮储能管理系统向飞轮储能系统下达停机指令；
- d) 调试过程中，观察并记录采集下列信息：
 - 飞轮储能单元运行转速、能量、电压、电流、温度、真空度等；
 - 飞轮储能变流器运行交流电压、交流电流、直流电压、网侧频率、机侧频率、交流端口有功功率、交流端口无功功率、异常报警及故障等；
 - 飞轮储能系统运行充电能量、放电能量、能量状态、有功功率、无功功率、异常报警及故障信息等。

注： P_N 是飞轮储能电站额定有功功率，单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

5.2 变配电系统

5.2.1 变配电系统一次设备调试应符合 GB 50147、GB 50148、GB 50149、GB 50150、GB 50168、GB 50233、

GB/T 20297、DL/T 618、DL/T 1215.4 的相关规定。

5.2.2 变配电系统二次设备调试应符合 GB 50171、GB 50172、GB 50254、GB/T 26862、DL/T 687、DL/T 995、DL/T 1101 的相关规定。

5.3 继电保护及安全自动装置

5.3.1 继电保护装置调试应符合 GB/T 14285、GB/T 7261、GB 50150、DL/T 317、DL/T 995、DL/T 527、DL/T 540、DL/T 587、DL/T 2253 的相关规定。

5.3.2 安全自动装置调试应符合 GB/T 14285、GB 50150、DL/T 2253 的相关规定。

5.4 监控系统

5.4.1 调试条件

监控系统调试具备以下条件：

- a) 确认飞轮储能管理系统、飞轮储能变流器、变配电设备和辅助系统等调试完成；
- b) 检查监控系统及附属设备供电正常，交直流供电满足 GB/T 37546 的要求；
- c) 检查监控系统的防雷与接地，满足 GB/T 37546 的要求；
- d) 确认人机接口的数据输入、显示、输出等功能，设备控制与调节的操作、参数设置等功能，电站电气接线图、主要设备运行状态图、运行工况换图、有功/无功自动控制图、不间断电源等公用接口设备状态图、监控系统架构及通信网络状态图等图形画面的显示与调用功能，数据输出、报表打印等操作功能正常；
- e) 连接北斗等卫星对时系统，检查时间同步系统正确接收对时信号；检查主时钟双机冗余配置正常工作。

5.4.2 通信功能

5.4.2.1 站内通信

站内通信调试按以下步骤进行：

- a) 确认监控系统通信协议/规约采用以太网接口，采用符合 GB/T 19582.1、DL/T 667、DL/T 860.10 等标准的通信协议；
- b) 开展信号联调前，确认飞轮储能管理系统处于开环状态，电站监控系统完成相应信号的数据封锁及安全隔离措施；
- c) 启动监控系统及其他系统通信装置；
- d) 监控系统向飞轮储能管理系统、飞轮储能网侧变流器发送指令，确认飞轮储能管理系统、飞轮储能网侧变流器接收到的信号与监控系统发送的指令相一致；
- e) 飞轮储能管理系统向监控系统发送信号，确认监控系统接收到的信号与飞轮储能管理系统发送的信号相一致；
- f) 分别断开飞轮储能管理系统、飞轮储能网侧变流器与监控系统之间的通信连接，确认报警窗口显示通信故障报警信息；
- g) 恢复站内设备与监控系统通信连接，确认报警窗口显示通信恢复信息；
- h) 重复步骤 c)~f)，完成监控系统与储能变流器、变配电系统、远动工作站、辅助系统之间的通信调试。

5.4.2.2 远动通信

远动通信调试按以下步骤进行：

- a) 检查远动工作站通信协议/规约,确认通信协议/规约满足 DL/T 634.5104、DL/T 719 的要求;
- b) 启动监控系统及远动工作站,确认通信功能正常;
- c) 核对飞轮储能管理系统与远动系统的遥信、遥测、遥控以及遥控通信点表,通过远动系统模拟下发信号以及飞轮储能管理系统模拟上送信号进行逐一核对,确认信号正确;
- d) 对于存在通信网络冗余的系统,断开远动工作站与上级调度端的通信连接,确认监控系统自动切换至冗余通道,报警窗口显示通信故障报警信息;
- e) 恢复通信连接,确认报警窗口显示通信恢复信息;
- f) 断开远动工作站与上级调度端的其他通信连接,重复步骤 c)~e),分别完成通信、冗余功能调试;
- g) 通过调度端下发有功功率、无功功率等指令至监控系统,确认监控系统接收到的数值与调度端发送的数值相一致且精度满足要求;
- h) 通过监控系统发送有功功率、无功功率等信号至调度端,确认调度端接收到的数值与监控系统发送的数值相一致且精度满足要求;
- i) 恢复通信连接、模拟发送的信号至初始状态。

5.4.3 报警功能

报警功能调试按以下步骤进行。

- a) 启动监控系统及相关设备,确认监控系统通信、数据采集功能正常。
- b) 确认监控系统报警功能分级按严重程度分为需要立即停机或停电处理的报警信息(一级)、需要立即采取应急处理措施的报警信息(二级)、需要加强监视及一、二级报警复归的报警信息(三级)。
- c) 通过现地设备或模拟装置触发一级报警动作,确认监控系统发出一级报警信号,并发出停机指令等信号;清除触发报警信号并复位,确认报警状态信息消失。
- d) 通过现地设备或模拟装置触发二级报警动作,确认监控系统发出二级报警信号,并发出降负荷指令等信号;清除触发报警信号并复位,确认报警状态信息消失。
- e) 通过现地设备或模拟装置触发三级报警动作,确认监控系统发出三级报警信号;清除触发报警信号,确认报警状态信息消失。
- f) 分别按照报警等级、设备或数据对象、发生时间、报警事件类型、关键字等条件对历史报警事件进行检索,确认结果与实际一致,且报警事件触发到监控系统推出报警信息的时间不超过 2 s。
- g) 清除故障信号,恢复接线。

5.4.4 控制与调节功能

5.4.4.1 设备控制功能

设备控制功能调试按以下步骤进行:

- a) 启动监控系统及飞轮储能管理系统、飞轮储能变流器、变配电设备和辅助系统等,确认监控系统通信、数据采集功能正常;
- b) 通过监控系统对开关设备进行开/关操作,使用测试装置记录监控系统下发的设备开/关状态指令信号,确认接收到的设备开/关状态与操作一致;
- c) 通过监控系统下发调节指令,使用测试装置记录监控系统下发的设备接收到的调节指令信号,确认接收到的设备调节指令与操作一致;
- d) 恢复设备初始状态。

5.4.4.2 自动发电控制(AGC)功能

AGC 功能调试按以下步骤进行：

- a) 启动监控系统及相关设备,确认通信功能正常;
- b) 短接并网开关继电器触点,模拟飞轮储能电站处于并网状态;
- c) 调整 AGC 控制模式为现地控制、AGC 控制方式为自动控制;
- d) 模拟并网点实际有功功率信号,通过监控系统下发有功功率设定值,确认监控系统输出增(有功功率低于目标值)/减(有功功率高于目标值)有功功率指令,且有功功率指令变化量和分配至各储能变流器的指令正确;
- e) 调整 AGC 控制模式为远程控制;
- f) 模拟调度端下发有功功率设定值,确认监控系统输出增(有功功率低于目标值)/减(有功功率高于目标值)有功功率指令,且有功功率指令变化量和分配至各储能变流器的指令正确;
- g) 模拟调度端下发有功功率计划曲线,确认监控系统接收到的计划曲线与调度端下发相一致;
- h) 恢复继电器触点连接及控制层级设置。

5.4.4.3 自动电压控制(AVC)功能

AVC 功能调试按以下步骤进行。

- a) 启动监控系统、飞轮储能变流器,确认通信功能正常。
- b) 短接并网开关继电器触点,模拟飞轮储能电站处于并网状态。
- c) 调整 AVC 控制模式为现地控制、AVC 控制方式为自动控制。
- d) 调整 AVC 运行模式至电压控制模式,通过监控系统下发电压设定值,确认无功功率控制功能满足以下要求:
 - 1) 电压目标值在并网点电压调节死区范围内,监控系统输出指令不变化;
 - 2) 电压目标值超过并网点电压调节死区范围,监控系统输出增(实际电压低于目标值)/减(实际电压高于目标值)无功功率指令,且无功功率指令变化量和分配至各储能变流器的指令正确。
- e) 调整 AVC 运行模式至无功功率控制模式,模拟并网点实际无功功率信号,通过监控系统下发无功功率设定值,确认无功功率控制功能满足以下要求:
 - 1) 无功功率目标值在无功功率调节死区范围内,监控系统输出指令不变化;
 - 2) 无功功率目标值超过无功功率调节死区范围,监控系统输出增(无功功率低于目标值)/减(无功功率高于目标值)无功功率指令,且无功功率指令变化量和分配至各储能变流器的指令正确。
- f) 调整 AVC 控制模式为远程控制。
- g) 调整 AVC 运行模式至电压控制模式,模拟调度端下发电压设定值,确认无功功率控制功能与步骤 d) 的要求相一致。
- h) 调整 AVC 运行模式至无功功率控制模式,模拟调度端下发无功功率设定值,确认无功功率控制功能与步骤 e) 的要求相一致。
- i) 恢复继电器触点连接,清除电压/无功功率信号。

5.4.4.4 调频模式

调频模式调试按以下步骤进行:

- a) 启动监控系统、飞轮储能变流器,确认通信功能正常;
- b) 短接并网开关继电器触点,模拟飞轮储能电站处于并网状态;

- c) 投入飞轮储能电站一次调频功能；
- d) 通过模拟信号发生器模拟飞轮储能电站并网点频率信号在调频死区范围内变化，确认监控系统输出有功功率指令保持不变；
- e) 通过模拟信号发生器模拟飞轮储能电站并网点频率信号在调频死区范围外变化，确认监控系统输出有功功率指令根据频率扰动信号的大小和方向规律变化，且变化量和分配至各储能变流器的指令正确；
- f) 恢复继电器触点连接。

5.4.4.5 紧急功率支撑模式

紧急功率支撑模式调试按以下步骤进行：

- a) 启动监控系统、飞轮储能变流器，确认通信功能正常；
- b) 短接并网开关继电器触点或强制并网信号，模拟飞轮储能电站处于并网状态；
- c) 模拟稳控装置或调度系统发送紧急功率支撑指令，监控系统输出功率指令正确；
- d) 清除紧急功率支撑指令，恢复继电器触点连接。

5.4.4.6 平滑功率输出模式

平滑功率输出功能调试按以下步骤进行：

- a) 启动监控系统、飞轮储能变流器，确认通信功能正常；
- b) 短接并网开关继电器触点，模拟飞轮储能电站处于并网状态；
- c) 模拟间歇性电源有功功率目标值，模拟间歇性电源有功功率且与目标值的差值在阈值内，确认监控系统输出指令不变；
- d) 模拟间歇性电源有功功率且与目标值的差值超出阈值，确认监控系统输出有功功率指令按规律变化、变化量和分配至各储能变流器的指令正确；
- e) 清除功率指令，恢复继电器触点连接。

5.4.4.7 电压暂降支撑模式

电压暂降支撑模式调试按以下步骤进行：

- a) 启动监控系统、飞轮储能变流器，确认通信功能正常；
- b) 短接并网开关继电器触点，模拟飞轮储能电站处于并网状态；
- c) 按照 GB/T 30137 的规定分别模拟并网点电压单相、两相、三相电压暂降过程，确认监控系统输出无功功率指令响应正确；
- d) 恢复继电器触点连接。

5.4.4.8 防误闭锁功能

防误闭锁功能调试按以下步骤进行：

- a) 启动监控系统及相关设备，确认通信模块运行正常；
- b) 投入防误闭锁功能，模拟进行设备误操作，确认设备状态无变化、报警信息正确；
- c) 重复步骤 b)，完成其他可控设备防误闭锁功能调试；
- d) 恢复可控设备状态、防误闭锁功能至初始状态。

5.4.5 功率协调控制功能

功率协调控制功能调试按以下步骤进行：

- a) 启动监控系统，确认通信功能正常；

- b) 短接并网开关继电器触点,模拟飞轮储能电站处于并网状态;
- c) 调整 AGC 控制模式为现地控制;
- d) 模拟电网频率变化触发一次调频动作,一次调频动作结束前通过监控系统下发 AGC 调节指令,确认飞轮储能电站 AGC 与一次调频协调策略的优先级满足并网要求;
- e) 通过监控系统下发 AGC 调节指令,AGC 调节结束前模拟电网频率变化触发一次调频动作,确认飞轮储能电站 AGC 与一次调频协调策略的优先级满足并网要求;
- f) 恢复继电器触点连接。

5.4.6 自诊断及冗余切换功能

自诊断及冗余切换功能调试按以下步骤进行。

- a) 启动监控系统及相关设备,确认通信、数据采集功能正常、主服务器处于工作状态、备服务器处于备用状态。
- b) 断开主服务器不间断电源和工作电源进行自诊断及冗余切换调试,确认结果满足以下要求:
 - 1) 备服务器自动切换至工作状态、主服务器处于退出状态;
 - 2) 监控系统数据采集、设备运行状态正常,报警窗口有报警信息和服务器启停信息。
- c) 恢复主服务器不间断电源和工作电源,切换主服务器处于工作状态,断开主服务器通信连接进行自诊断及冗余切换调试,确认调试结果与 b) 相一致。
- d) 恢复通信连接,切换主服务器处于工作状态、备服务器处于备用状态。

5.5 通信与调度自动化系统

通信与调度自动化系统调试应符合 GB/T 33602、DL/T 516、DL/T 544、DL/T 860.10、DL/T 1379、DL/T 1455、DL/T 5003、DL/T 5202 的相关规定。

5.6 站用电源

飞轮储能电站的站用电源调试应符合 GB 50054 的规定,站用直流系统调试应符合 DL/T 5044 的规定,交流不间断电源的事故放电时间应不小于 2 h。

6 联合调试

6.1 启动/停机

启动/停机调试按以下步骤进行:

- a) 通过分系统调试记录,确认飞轮储能系统、监控系统、变配电系统、继电保护及安全自动装置、通信与调度自动化系统、站用电源的调试项目,确认分系统调试完成;
- b) 确认监控系统、变配电系统、继电保护及安全自动装置、通信与调度自动化系统、站用电源等系统具备并网运行条件;
- c) 启动监控系统、变配电系统、继电保护及安全自动装置、通信与调度自动化系统、站用电源等系统,确认设备参数为并网运行参数,且运行正常、无报警;
- d) 通过监控系统下发并网开关闭合指令,确认飞轮储能电站切换并网运行模式、参与调试的设备运行正常且无报警和异常等现象;
- e) 设置飞轮储能电站为充电模式;
- f) 通过监控系统下发飞轮储能电站有功功率指令,确认储能变流器处于并网状态、启动正常且无报警和异常等现象;
- g) 通过监控系统下发飞轮储能电站停机指令,确认储能变流器处于离网状态且无报警和异常等

现象；

- h) 通过监控系统下发飞轮储能电站额定有功功率指令,确认储能变流器处于并网状态、启动正常且无报警和异常等现象；
- i) 通过监控系统下发飞轮储能电站停机指令,确认储能变流器处于离网状态且无报警和异常等现象；
- j) 设置飞轮储能电站放电模式；
- k) 重复步骤 e)～h),完成放电模式下启动/停机调试；
- l) 恢复飞轮储能电站初始运行状态。

6.2 并网

并网调试按以下步骤进行：

- a) 启动监控系统、变配电系统、继电保护及安全自动装置、通信与调度自动化系统、站用电源等系统,校核设备参数、并网运行参数,确认系统运行正常、无异常告警；
- b) 通过监控系统下发并网开关闭合指令,确认飞轮储能电站切换为并网运行模式、参与调试的设备运行正常且无报警和异常等现象；
- c) 通过监控系统下发储能变流器并网开关闭合指令,确认储能变流器为并网运行状态、运行正常且无报警和异常等现象；
- d) 设置飞轮储能电站为充电模式；
- e) 通过监控系统下发低负荷有功功率指令,确认飞轮储能电站运行正常且无报警和异常等现象；
- f) 调整飞轮储能电站运行功率为 0,断开飞轮储能电站并网开关,确认飞轮储能电站处于离网状态、运行正常且无报警和异常等现象；
- g) 设置飞轮储能电站放电模式；
- h) 重复步骤 c)～d) 和 f)～g),完成放电模式下并/离网调试；
- i) 恢复飞轮储能电站初始运行状态。

6.3 有功功率调节能力

6.3.1 站内动态联调

6.3.1.1 开环控制

开环控制调试按以下步骤进行：

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象、通信功能正常；
- b) 设置飞轮储能电站 AGC 控制模式为现地控制,AGC 控制方式为手动控制；
- c) 投入全站 AGC 功能、退出 AGC 闭环控制功能；
- d) 下发有功功率目标值,确认 AGC 功率分配策略、控制逻辑满足相关技术要求；
- e) 下发有功越限及越步长指令,检查报警文本的调节策略,确认 AGC 开环调节逻辑正确；
- f) 恢复飞轮储能电站初始运行状态。

6.3.1.2 闭环控制

闭环控制调试按以下步骤进行：

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象、通信功能正常；
- b) 设置单个阵列中储能变流器远程控制,其余储能变流器为现地控制；

- c) 设置飞轮储能电站 AGC 控制模式为现地控制,AGC 控制方式为自动控制;
- d) 下发有功功率目标值,确认 AGC 功率分配策略、控制逻辑及调节精度满足相关技术要求;
- e) 下发有功越限及越步长指令,检查报警文本的调节策略,确认 AGC 闭环调节逻辑正确;
- f) 设置全站所有储能变流器为远程控制,重复步骤 d)~e),完成整站闭环控制调试;
- g) 恢复飞轮储能电站初始运行状态。

6.3.2 调度端动态联调

调度端动态联调按以下步骤进行:

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象、通信功能正常;
- b) 设置飞轮储能电站 AGC 控制模式为远程控制,AGC 控制方式为自动控制;
- c) 调度端下发有功功率指令,确认监控系统接收数值与调度端下发指令相一致,AGC 跟踪调度指令正确,监控系统上送调度数据与调度端接收相一致,有功功率调节速率和稳态偏差满足并网技术要求;
- d) 调度端下发有功功率计划曲线,确认监控系统接收到的计划曲线与调度端下发相一致;
- e) 调度端下发有功功率越限或越步长指令,确认监控系统收到指令并报警;
- f) 模拟调度端通信通道切换、通信故障和通信设备断电重启等故障,确认监控系统无错误遥调和遥控指令发出;
- g) 恢复飞轮储能电站初始运行状态。

6.3.3 功能和性能测试

功能和性能测试按以下步骤进行:

- a) 通过监控系统下发并网开关闭合指令,飞轮储能电站切换为并网运行模式;
- b) 通过监控系统核对飞轮储能电站并网运行参数,确认飞轮储能电站无异常报警信息;
- c) 通过监控系统下达充(放)电指令,功率值分别设置为 P_N 、 $-P_N$ 、 $0.8P_N$ 、 $-0.8P_N$ 、 $0.6P_N$ 、 $-0.6P_N$ 、 $0.5P_N$ 、 $-0.5P_N$ 、 $0.4P_N$ 、 $-0.4P_N$ 、 $0.2P_N$ 、 $-0.2P_N$,每个功率值持续运行 1 min 或达到工作转速上限/下限;
- d) 记录每个充放电过程中网侧变流器交流端口功率;
- e) 通过监控系统下达停机指令;
- f) 确认功率控制偏差满足 GB/T 44933—2024 的要求。

注: P_N 是飞轮储能电站额定有功功率,单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.4 无功功率调节能力

6.4.1 站内动态联调

6.4.1.1 开环控制

开环控制调试按以下步骤进行:

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象、通信功能正常;
- b) 设置飞轮储能电站 AVC 控制模式为现地控制,控制方式为手动控制;
- c) 投入全站 AVC 功能,退出 AVC 闭环控制功能;
- d) 下发无功功率目标值,确认 AVC 控制逻辑满足相关技术要求;
- e) 下发无功功率越限及越步长指令,检查报警文本的调节策略,确认 AVC 开环调节逻辑正确;

f) 恢复飞轮储能电站初始运行状态。

6.4.1.2 闭环控制

闭环控制调试按以下步骤进行：

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象、通信功能正常;
- b) 设置飞轮储能电站 AVC 控制模式为现地控制,控制方式为自动控制;
- c) 投入全站 AVC 功能,设置 AVC 运行模式至电压控制模式;
- d) 下发电压目标值,确认 AVC 控制逻辑及调节精度满足相关技术要求;
- e) 下发电压越限及越步长指令,检查报警文本给出的调节策略,确认 AVC 闭环调节逻辑正确;
- f) 设置 AVC 运行模式至无功功率控制模式;
- g) 下发无功功率目标值,确认 AVC 控制逻辑及调节精度满足相关技术要求;
- h) 下发无功功率越限及越步长指令,检查报警文本给出的调节策略,确认 AVC 闭环调节逻辑正确;
- i) 恢复飞轮储能电站初始运行状态。

6.4.2 调度端动态联调

调度端动态联调按以下步骤进行：

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象、通信功能正常;
- b) 设置飞轮储能电站 AVC 控制模式为远程控制,控制方式为自动控制;
- c) 投入全站 AVC 功能,设置 AVC 运行模式至电压控制模式;
- d) 调度端下发电压指令,确认监控系统接收数值与调度端下发指令相一致,AVC 跟踪调度指令正确,监控系统上送调度数据与调度端接收相一致,电压调节速率和稳态偏差满足并网技术要求;
- e) 调度端下发电压越限及越步长指令,确认 AVC 收到指令并报警;
- f) 模拟调度端通信通道切换、通信故障和通信设备断电重启等故障,确认 AVC 无错误遥调和遥控指令发出,AVC 控制模式自动切换至现地控制,且按照预先给定的高压侧母线电压目标值进行控制;
- g) 设置飞轮储能电站 AVC 控制模式为远程控制,运行模式至无功功率控制模式;
- h) 调度端下发无功功率指令,确认监控系统接收数值与调度端下发指令相一致,AVC 跟踪调度指令正确,监控系统上送调度数据与调度端接收相一致,无功功率调节速率和稳态偏差满足并网技术要求;
- i) 调度端下发无功功率越限及越步长指令,确认 AVC 收到指令并报警;
- j) 模拟调度端通信通道切换、通信故障和通信设备断电重启等故障,确认 AVC 无错误遥调和遥控指令发出,AVC 控制模式自动切换至现地控制;
- k) 恢复飞轮储能电站初始运行状态。

6.4.3 功能和性能测试

功能和性能测试按以下步骤进行：

- a) 通过监控系统下发并网开关闭合指令,飞轮储能电站切换为并网运行模式;
- b) 通过监控系统核对飞轮储能电站并网运行参数,确认飞轮储能电站无异常报警信息;
- c) 通过监控系统按照功率值 $0, Q_C, Q_L, 0$ 下达充/放电指令,每个功率值持续运行 1 min;

- d) 记录每个充放电过程中网侧变流器交流端口功率；
- e) 通过监控系统下达停机指令；
- f) 确认功率控制偏差满足 GB/T 44933—2024 要求。

注： Q_C 、 Q_L 为有功功率为 100% 额定功率工况下，飞轮储能系统输出的最大感性无功功率和最大容性无功功率。

6.5 充/放电功能

按充/放电功能调试按以下步骤进行：

- a) 数据采集装置接在测试点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)上；
- b) 通过监控系统下发功率控制指令，功率值分别设置为 0 、 P_N 、 0 、 $-P_N$ 、 P_N 、 $-P_N$ 、 0 ，每个功率值持续运行 1 min 或达到工作转速上限/下限；
- c) 利用数据采集装置记录每个功率控制点的电压、电流和有功功率，绘制有功功率曲线；
- d) 计算充电响应时间、充电调节时间、放电响应时间、放电调节时间、放电到充电转换时间和充电到放电转换时间；
- e) 重复步骤 b)~d) 2 次，取 3 次测试的最大值作为测试结果，确认充/放电响应时间不大于 500 ms，充/放电调节时间不大于 2 s，充电到放电转换时间、放电到充电转换时间不大于 500 ms。

注： P_N 是飞轮储能电站额定有功功率，单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.6 故障电压穿越(电网能力)

6.6.1 一般要求

储能变流器故障穿越测试满足以下要求。



- a) 首选飞轮储能电站作为测试对象，飞轮储能电站不能作为测试对象时，选择飞轮储能电站中同型号规格的任意一个储能系统作为测试对象，关闭与被测储能系统同一条母线下的其他储能系统；飞轮储能电站中存在多个储能型号规格的储能系统时，根据飞轮储能电站实际情况，分别抽取同型号规格的储能系统为对象进行测试，测试覆盖所有型号规格的储能系统。
- b) 电网模拟装置与被测储能系统串联，数据采集装置接在测试点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)上。
- c) 低电压故障穿越测试至少选取 5 个跌落点，其中包含 $0\%U_N$ 和 $20\%U_N$ 跌落点，其他跌落点在 $(30\% \sim 50\%)U_N$ 、 $(50\% \sim 70\%)U_N$ 、 $(70\% \sim 90\%)U_N$ 3 个区间内均有分布，各跌落点跌落时间满足图 1 要求。

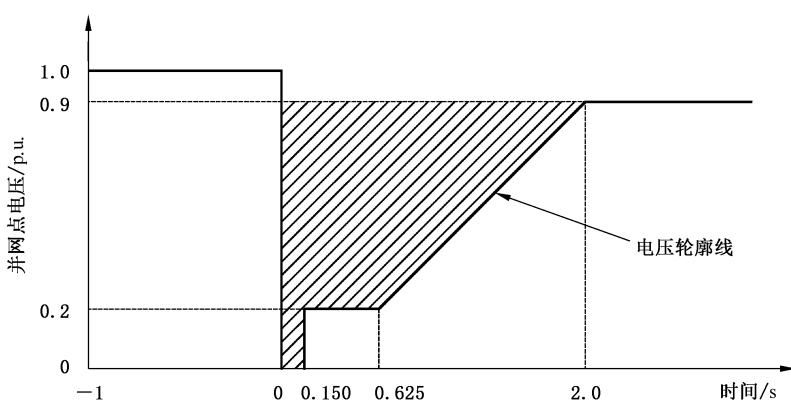


图 1 飞轮储能电站低压故障穿越曲线

- d) 高电压故障穿越测试至少选取 3 个抬升点，分别为 $120\%U_N$ 、 $125\%U_N$ 和 $130\%U_N$ ，各抬升点的抬升时间满足图 2 要求。

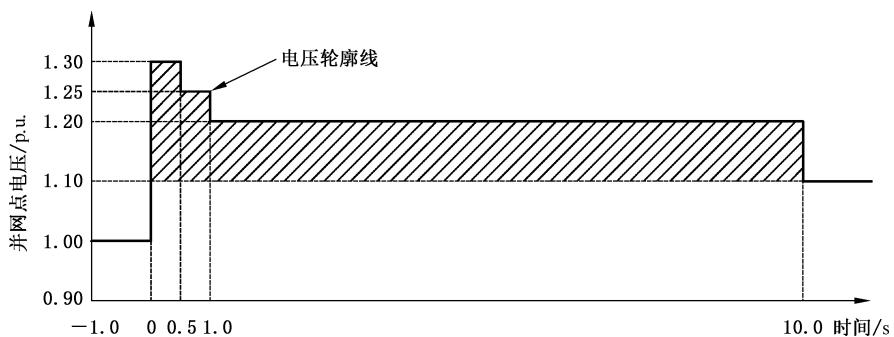


图 2 飞轮储能电站高压故障穿越曲线

e) 连续低电压故障穿越测试的故障区间按照表 1 选取。

表 1 连续低电压故障穿越测试故障区间

低压穿越阶段	电压跌落点		电压跌落点	
低电压故障穿越阶段 1	0% U_N			20% U_N
低电压故障穿越阶段 2	0% U_N	20% U_N	0% U_N	20% U_N

f) 低-高连续穿越测试的故障区间按照表 2 选取。

表 2 低-高连续穿越测试故障区间

穿越阶段	电压跌落点			电压跌落点		
低电压故障穿越阶段	0% U_N			20% U_N		
高电压故障穿越阶段	120% U_N	125% U_N	130% U_N	120% U_N	125% U_N	130% U_N

g) 故障穿越测试分别进行空载测试和负载测试,负载测试在空载测试结果满足要求的情况下进行。负载测试时电网模拟装置的设置和故障模拟点与空载测试保持一致。

注: U_N 为飞轮储能电站或者储能系统并网点标称电压。

6.6.2 低电压故障穿越

6.6.2.1 空载测试

低电压故障穿越的空载测试按以下步骤进行:

- 断开被测储能系统与电网模拟装置之间的开关;
- 设置电网模拟装置的输出电压模拟线路三相对称故障,电压跌落点的选取满足 6.6.1 的要求;
- 利用数据采集装置采集电压跌落前 3 s 到电压恢复正常后 6 s 之间的储能系统测试点电压和电流并记录;
- 重复 b) 和 c);
- 设置电网模拟装置的输出电压模拟表 3 中的一种不对称故障类型,电压跌落点选取满足 6.6.1 的要求;
- 利用数据采集装置采集电压跌落前 3 s 到电压恢复正常后 6 s 之间的储能系统测试点电压和电流并记录;
- 重复 e) 和 f)。

表 3 线路不对称故障类型

故障类型	故障相		
单相接地短路故障	A 相	B 相	C 相
两相相间短路故障	AB 相间	BC 相间	CA 相间
两相接地短路	AB 相	BC 相	CA 相

6.6.2.2 负载测试

低电压故障穿越的负载测试按以下步骤进行。

- 设置被测储能系统以(10%~30%) P_N 范围内的功率值放电。
- 通过电网模拟装置模拟线路三相对称故障的电压跌落点,电压跌落点的选取满足 6.6.1 的要求。
- 利用数据采集装置采集电压跌落前 3 s 到电压恢复正常后 6 s 之间的储能系统测试点电压、电流和功率,计算故障期间的动态无功电流、响应时间、调节时间以及故障结束后的动态无功电流退出时间和有功功率恢复速率。
- 重复步骤 b) 和 c)。
- 设置电网模拟装置的输出电压模拟表 3 中的一种不对称故障类型,电压跌落点的选取满足 6.6.1 的要求。
- 利用数据采集装置采集电压跌落前 3 s 到电压恢复正常后 6 s 之间的储能系统测试点电压、电流和功率,计算故障期间的动态无功电流、响应时间、调节时间以及故障结束后的动态无功电流退出时间和有功功率恢复速率。
- 重复步骤 e) 和 f)。
- 设置被测储能系统以(10%~30%) P_N 范围内的功率值充电,重复步骤 b)~g);设置被测储能系统以(70%~100%)范围内的功率值放电,重复步骤 b)~g);设置被测储能系统以(70%~100%)范围内的功率值充电,重复步骤 b)~g)。

注: P_N 是飞轮储能电站额定有功功率,单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.6.3 高电压故障穿越

6.6.3.1 空载测试

高电压故障穿越的空载测试按以下步骤进行:

- 断开被测储能系统与电网模拟装置之间的开关;
- 设置电网模拟装置的输出电压模拟线路三相电压抬升,电压抬升点的选取满足 6.6.1 的要求;
- 利用数据采集装置采集电压抬升前 3 s 到电压恢复正常后 6 s 之间的储能系统测试点电压和电流并记录;
- 重复 b) 和 c)。

6.6.3.2 负载测试

高电压故障穿越的负载测试按以下步骤进行。

- 设置被测储能系统以(10%~30%) P_N 范围内的功率值放电。
- 设置电网模拟装置的输出电压模拟线路三相电压抬升,电压抬升点的选取满足 6.6.1 的要求。
- 利用数据采集装置采集电压抬升前 3 s 到电压恢复正常后 6 s 之间的储能系统测试点电压、电

流和功率，并记录；计算故障期间的有功功率变换量、动态无功电流增量、响应时间、调节时间以及故障结束后的动态无功电流退出时间和有功功率恢复速率。

- d) 重复步骤 b) 和 c)。
- e) 设置被测储能系统以(10%~30%) P_N 范围内的功率值充电，重复步骤 b)~d)。
- f) 设置被测储能系统以(70%~100%) P_N 范围内的功率值放电，重复步骤 b)~d)。
- g) 设置被测储能系统以(70%~100%) P_N 范围内的功率值充电，重复步骤 b)~d)。

注： P_N 是飞轮储能电站额定有功功率，单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.6.4 连续低-高电压故障穿越

6.6.4.1 空载测试



连续低-高电压故障空载测试按以下步骤进行：

- a) 断开被测储能系统与电网模拟装置之间的开关；
- b) 设置电网模拟装置的输出电压，模拟电压连续低-高三相对称故障无间隔重复 3 次，电压故障点 b) 的选取满足 6.6.1 的要求；
- c) 利用数据采集装置采集第一次电压跌落前 3 s 到最后一次高电压恢复正常后 6 s 之间的储能系统测试点电压、电流和功率，并记录；
- d) 重复步骤 b) 和 c)。

6.6.4.2 负载测试

连续低-高电压故障负载测试按以下步骤进行。

- a) 设置被测储能系统以(10%~30%) P_N 范围内的功率值放电。
- b) 调节电网模拟装置的输出电压，模拟电压连续低-高三相对称故障无间隔重复 3 次，电压故障点的选取满足 6.6.1 的要求。
- c) 利用数据采集装置采集第一次电压跌落前 3 s 到最后一次高电压恢复正常后 6 s 之间的储能系统测试点电压、电流和功率，并记录；计算每次电压跌落和抬升的持续时间以及最后一次有功功率恢复速率。
- d) 重复步骤 b) 和 c)。
- e) 设置被测储能系统以(10%~30%) P_N 的功率值充电，重复步骤 b)~d)。
- f) 设置被测储能系统以(70%~100%) P_N 的功率值放电，重复步骤 b)~d)。
- g) 设置被测储能系统以(70%~100%) P_N 的功率值充电，重复步骤 b)~d)。

注： P_N 是飞轮储能电站额定有功功率，单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.7 电网适应性

6.7.1 电压适应性

飞轮储能电站电压适应性测试按以下步骤进行。

- a) 首选飞轮储能电站作为测试对象，飞轮储能电站不能作为测试对象时，宜选择飞轮储能电站中同型号规格的任意一个储能系统作为测试对象，关闭与被测储能系统同一条母线下的其他储能系统；飞轮储能电站中存在多个型号规格的储能系统时，根据飞轮储能电站实际情况，分别抽取同型号规格的储能系统为对象进行测试，测试覆盖所有型号规格的储能系统。
- b) 电网模拟装置与被测储能系统串联，数据采集装置接在测试点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)上。
- c) 设置电网模拟装置的输出电压和频率为被测储能系统的标称电压和额定频率。

- d) 通过监控系统下发功率控制指令,设置被测储能系统以 $0\sim100\%P_N$ 充/放电,选取 5 个测量点,每个测量点之间的间隔步长不小于 $15\%P_N$ 。
- e) 设置电网模拟装置的电压从分别阶跃至 $91\%U_N$ 、 $95\%U_N$ 和 $99\%U_N$,每个控制点持续运行至少 1 min 后恢复到 U_N ,利用数据采集装置记录储能系统测试点电压和储能系统运行状态。
- f) 设置电网模拟装置的电压从分别阶跃至 $101\%U_N$ 、 $105\%U_N$ 和 $109\%U_N$,每个控制点持续运行至少 1 min 后恢复到 U_N ,利用数据采集装置记录储能系统测试点电压和储能系统运行状态。

注: U_N 为飞轮储能电站或者储能系统并网点标称电压,是飞轮储能电站额定有功功率,单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.7.2 频率适应性

飞轮储能电站频率适应性测试按以下步骤进行。

- a) 首选飞轮储能电站作为测试对象,飞轮储能电站不能作为测试对象时,宜选择飞轮储能电站中同型号规格的任意一个储能系统作为测试对象,关闭与被测储能系统同一条母线下的其他储能系统。飞轮储能电站中存在多个储能型号规格的储能系统时,根据飞轮储能电站实际情况,分别抽取同型号规格的储能系统为对象进行测试,测试覆盖所有型号规格的储能系统。
- b) 电网模拟装置与被测储能系统串联,数据采集装置接在测试点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)上。
- c) 设置电网模拟装置的输出电压和频率为被测储能系统的标称电压和额定频率。
- d) 关闭被测储能系统的一次调频和惯量响应功能。
- e) 通过监控系统下发功率控制指令,设置被测储能系统以 $0\sim100\%P_N$ 充/放电,选取 5 个测量点,每个测量点之间的间隔步长不小于 $15\%P_N$ 。
- f) 设置电网模拟装置输出频率从 50 Hz 分别阶跃至 46.45 Hz、46.55 Hz、47.00 Hz 和 48.45 Hz,每个控制点持续运行至少 1 min 或达到工作转速上限/下限后恢复到 50 Hz,利用数据采集装置记录储能系统测试点频率和储能系统运行状态。
- g) 设置电网模拟装置输出频率从 50 Hz 分别阶跃至 48.55 Hz、50.05 Hz 和 50.45 Hz,每个控制点持续运行至少 1 min 或达到工作转速上限/下限;后恢复到 50 Hz,利用数据采集装置记录储能系统测试点频率和储能系统运行状态。
- h) 设置电网模拟装置输出频率从 50 Hz 分别阶跃至 50.55 Hz、51.00 Hz、51.45 Hz、51.55 Hz,每个控制点持续运行 1 min 或达到工作转速上限/下限;后恢复到 50 Hz,利用数据采集装置记录储能系统测试点频率和储能系统运行状态。
- i) 测试结束后恢复被测储能系统的一次调频和惯量响应功能。

注: P_N 是飞轮储能电站额定有功功率,单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.7.3 频率变化率适应性

飞轮储能电站频率变化率适应性测试按以下步骤进行。

- a) 首选飞轮储能电站作为测试对象,飞轮储能电站不能作为测试对象时,宜选择飞轮储能电站中同型号规格的任意一个储能系统作为测试对象,关闭与被测储能系统同一条母线下的其他储能系统;飞轮储能电站中存在多个储能型号规格的储能系统时,根据飞轮储能电站实际情况,分别抽取同型号规格的储能系统为对象进行测试,测试覆盖所有型号规格的储能系统。
- b) 电网模拟装置与被测储能系统串联,数据采集装置接在与测试点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)上。
- c) 设置电网模拟装置的输出电压和频率为被测储能系统的标称电压和额定频率。
- d) 关闭被测储能系统的一次调频和惯量响应功能。

- e) 通过监控系统下发功率控制指令,设置被测储能系统以 $0\sim100\%P_N$ 充/放电,选取 5 个测量点,每个测量点之间的间隔步长不小于 $15\%P_N$ 。
- f) 设置电网模拟装置输出频率从 50 Hz 以 1.95 Hz/s 的变化率降低至 48.55 Hz,持续运行至少 1 min 或达到工作转速上限/下限,再以 1.95 Hz/s 的变化率升高至 50 Hz,持续运行至少 1 min 或达到工作转速上限/下限,利用数据采集装置记录储能系统测试点频率和储能系统运行状态。
- g) 设置电网模拟装置输出频率从 50 Hz 以 2.05 Hz/s 的变化率降低至 48.55 Hz,持续运行至少 1 min 或达到工作转速上限/下限,再以 2.05 Hz/s 的变化率升高至 50 Hz,持续运行至少 1 min 或达到工作转速上限/下限,利用数据采集装置记录储能系统测试点频率和储能系统运行状态。
- h) 设置电网模拟装置输出频率从 50 Hz 以 1.95 Hz/s 的变化率升高至 50.45 Hz,持续运行至少 1 min 或达到工作转速上限/下限,再以 1.95 Hz/s 的变化率降低至 50 Hz,持续运行至少 1 min 或达到工作转速上限/下限,利用数据采集装置记录储能系统测试点频率和储能系统运行状态。
- i) 设置电网模拟装置输出频率从 50 Hz 以 2.05 Hz/s 的变化率升高至 50.45 Hz,持续运行至少 1 min 或达到工作转速上限/下限,再以 2.05 Hz/s 的变化率降低至 50 Hz,持续运行至少 1 min 或达到工作转速上限/下限,利用数据采集装置记录储能系统测试点频率和储能系统运行状态。
- j) 测试结束后恢复被测储能系统的一次调频和惯量响应功能。

注: P_N 是飞轮储能电站额定有功功率,单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.7.4 电能质量适应性

飞轮储能电站电能质量适应性测试按以下步骤进行。

- a) 首选飞轮储能电站作为测试对象,飞轮储能电站不能作为测试对象时,宜选择飞轮储能电站中同型号规格的任意一个储能系统作为测试对象,关闭与被测储能系统同一条母线下的其他储能系统;飞轮储能电站中存在多个储能型号规格的储能系统时,根据飞轮储能电站实际情况,分别抽取同型号规格的储能系统为对象进行测试,测试覆盖所有型号规格的储能系统。
- b) 电网模拟装置与被测储能系统串联,数据采集装置接在测试点的电压互感器(PT)和电流互感器(CT)上。
- c) 设置电网模拟装置的输出电压和频率为被测储能系统的标称电压和额定频率。
- d) 设置被测储能系统以 P_N 充电至充电终止条件时停止充电。
- e) 通过监控系统下发功率控制指令,设置被测储能系统以 $0\sim100\%P_N$ 之间充电,选取 5 个测量点,每个测量点之间的间隔步长不小于 $15\%P_N$ 。
- f) 设置模拟电网装置的谐波值至 GB/T 14549 中要求的最大限值,持续运行至少 1 min,记录储能系统运行状态。
- g) 设置模拟电网装置的三相电压不平衡度至 GB/T 15543 中要求的最大限值,持续运行至少 1 min,记录储能系统运行状态。
- h) 设置模拟电网装置的间谐波电压值至 GB/T 24337 中要求的最大限值,持续运行至少 1 min,记录储能系统运行状态。

注: P_N 是飞轮储能电站额定有功功率,单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.8 过载能力

过载能力调试按以下步骤进行。

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象。
- b) 首选飞轮储能电站作为测试对象,飞轮储能电站不能作为测试对象时,宜选择飞轮储能电站中同型号规格的任意一个储能系统作为测试对象,关闭与被测储能系统同一条母线下的其他储能系统。飞轮储能电站中存在多个储能型号规格的储能系统时,根据飞轮储能电站实际情况,分别抽取同型号规格的储能系统为对象进行测试,测试覆盖所有型号规格的储能系统。
- c) 设置被测储能系统以充电至充电终止条件时停止充电。
- d) 设置被测储能系统以放电,运行稳定后,设置被测储能系统以 $110\%P_N$ 放电,持续运行 1 min 或达到工作转速下限。
- e) 利用数据采集装置记录测试点的电流、电压和功率。
- f) 设置被测储能系统以充电,运行稳定后,设置被测储能系统以 $110\%P_N$ 充电,持续运行 1 min 或达到工作转速上限;利用数据采集装置记录测试点的电流、电压和功率。
- g) 设置被测储能系统以放电至放电终止条件时停止放电。
- h) 设置被测储能系统以充电,运行稳定后,设置被测储能系统以 $110\%P_N$ 充电,持续运行 1 min 或达到工作转速上限。
- i) 利用数据采集装置记录测试点的电流、电压和功率。
- j) 设置被测储能系统以放电,运行稳定后,设置被测储能系统以 $110\%P_N$ 放电,持续运行 1 min 或达到工作转速下限。
- k) 利用数据采集装置记录测试点的电流、电压和功率。

注: P_N 是飞轮储能电站额定有功功率,单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.9 一次调频

一次调频调试按下列步骤进行:

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象;
- b) 退出飞轮储能电站惯量响应和 AGC 控制功能;
- c) 通过监控系统下发功率控制指令,设置飞轮储能电站以额定有功功率充放电;
- d) 通过一次调频装置向监控系统下发频率变化指令;
- e) 投入飞轮储能电站一次调频功能,按照 GB/T 40595 规定的方法分别进行一次调频死区、动态性能和限幅测试,确认测试结果与 GB/T 40595 的要求相一致。

6.10 惯量响应

惯量响应调试按以下步骤进行:

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象;
- b) 退出飞轮储能电站一次调频和 AGC 控制功能;
- c) 通过监控系统下发功率控制指令,设置飞轮储能电站以额定有功功率充放电;
- d) 通过频率信号发生装置向监控系统下发频率变化指令;
- e) 投入飞轮储能电站惯量响应功能,通过调整频率信号发生装置输出不同频段,不同变化率的频率扰动信号,测试飞轮储能电站惯量响应性能,确认惯量响应的上升时间,有功功率最大调节量和稳态偏差满足并网技术要求。

6.11 自动发电控制(AGC)

AGC 调试按下列步骤进行:

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象;
- b) 退出飞轮储能电站一次调频和惯量响应控制功能;
- c) 通过 AGC 控制系统下发功率控制指令,设置飞轮储能电站以额定有功功率充/放电;
- d) 利用数据采集装置采集测试点的电流、电压和功率,绘制实时功率曲线并计算有功功率的响应时间、调节时间和控制精度;
- e) 飞轮储能系统正确响应功率指令信号,功率响应稳态偏差不大于 1%;
- f) 当功率指令超出飞轮储能系统 SOE 调节上限/下限,飞轮储能系统退出功率指令,不发生功率波动。

6.12 电能质量

电能质量测试按以下步骤进行:

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,设备参数调至并网运行参数且运行正常,无报警、异常等现象;
- b) 飞轮储能电站电流谐波测试分别在充电状态和放电状态下进行,充电功率和放电功率均为 P_N ,测试方法符合 GB/T 14549 的规定,利用数据采集装置记录测试过程中的 25 次谐波电流值;
- c) 飞轮储能电站电压谐波测试分别在充电状态和放电状态下进行,充电功率和放电功率均为 P_N ,测试方法符合 GB/T 14549 的规定,利用数据采集装置记录测试过程中的电压总谐波畸变率和奇偶次谐波电压含有率;
- d) 飞轮储能电站电压间谐波测试分别在充电状态和放电状态下进行,充电功率和放电功率均为 P_N ,测试方法符合 GB/T 24337 的规定,利用数据采集装置记录测试过程中的间谐波电压含有率;
- e) 飞轮储能电站电压偏差测试分别在充电状态和放电状态下进行,充电功率和放电功率均为 P_N ,测试方法符合 GB/T 12325 的规定,利用数据采集装置记录测试过程中的电压偏差;
- f) 飞轮储能电站电压不平衡度测试分别在充电状态和放电状态下进行,充电功率和放电功率均为 P_N ,测试方法符合 GB/T 15543 的规定,利用数据采集装置记录测试过程中的电压不平衡度;
- g) 飞轮储能电站电压波动和闪变分别在充电状态和放电状态下进行,充电功率和放电功率均为 P_N ,测试方法符合 GB/T 12326 的规定,利用数据采集装置记录测试过程中的电压波动值和短时闪变值。

注: P_N 是飞轮储能电站额定有功功率,单位为千瓦(kW)或兆瓦(MW)。

6.13 额定充放电能量及充放电循环效率

额定充放电能量及充放电循环效率测试按以下步骤进行:

- a) 飞轮储能电站及参与调试的设备处于并网状态,确认设备参数调至并网运行参数且运行正常、无报警和异常等现象;
- b) 飞轮储能电站额定充放电试验按照 GB/T 44933—2024 中 10.13 的步骤进行测试,额定功率充放电循环效率按照 GB/T 44933—2024 中公式进行计算。

附录 A
(资料性)
调试记录

飞轮储能电站调试记录内容见表 A.1。

表 A.1 飞轮储能电站调试记录

调试记录				
设备/系统编号		设备/系统名称		
调试人员			测试日期	
检查/核 查记录	序号	项目名称	检查/核查方式	检查/核查结果
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
			
调试数 据记录	序号	项目名称	技术参数	数值
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
			
备注				
记录人	年 月 日		审核人	年 月 日



附录 B
(资料性)
调试报告

B.1 飞轮储能电站调试报告封面

飞轮储能电站调试报告封面包含下列信息：

- a) 报告名称；
- b) 编写人员；
- c) 审核人员；
- d) 批准人员；
- e) 编写日期。

B.2 飞轮储能电站调试报告内容

飞轮储能电站调试报告内容见表 B.1。

表 B.1 飞轮储能电站调试报告内容

章编号	内容
1	概述
2	调试内容
3	调试依据
4	调试仪器设备
5	分系统调试
6	联合调试
7	存在问题及整改措施
8	结论