



中华人民共和国国家标准

GB/T 44933—2024

电力储能用飞轮储能系统技术规范

Technical specification for flywheel energy storage system used for electrical
energy storage system



2024-12-31 发布

2025-07-01 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.....1

4 总体要求.....2

5 系统架构.....3

6 正常运行环境条件.....3

7 系统功能要求.....3

8 系统性能要求.....5

9 飞轮储能辅助系统.....7

10 系统试验方法.....7

附录 A(资料性) 电力储能用飞轮储能系统典型架构.....27

附录 B(资料性) 飞轮储能管理系统与各层级设备通信拓扑.....28

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：中国能源建设集团湖南省电力设计院有限公司、中国科学院工程热物理研究所、沈阳微控飞轮技术股份有限公司、北京泓慧国际能源技术发展有限公司、坎德拉(深圳)新能源科技有限公司、华驰动能(北京)科技有限公司、中国电力科学研究院有限公司、贝肯新能源有限公司、平高集团储能科技有限公司、北京清源飞控能源科技有限公司、微控飞轮技术(深圳)有限公司、中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：刘宏超、李屹立、徐婷婷、戴兴建、槐博超、汪觉恒、吕夷、崔亚东、苏森、刘东、张皖曦、秦立军、田刚领、张延、董舟、李伟、杨岑玉、谢彬、柳哲、彭龙、魏路、张庆源、张兴、涂伟超、杨德全、李树胜、徐翀、李响、魏少帅、孔林。

电力储能用飞轮储能系统技术规范

1 范围

本文件规定了电力储能用飞轮储能系统(以下简称“飞轮储能系统”)的总体要求、系统架构、正常运行环境条件、系统功能要求、系统性能要求及飞轮储能辅助系统技术要求,描述了系统试验方法。

本文件适用于额定放电功率 200 kW 及以上交流并网的飞轮储能系统的现场试验、检测、运行、维护和检修。

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 15945 电能质量 电力系统频率偏差
- GB/T 20626.1 特殊环境条件 高原电工电子产品 第 1 部分:通用技术要求
- GB/T 20840.2 互感器 第 2 部分:电流互感器的补充技术要求
- GB/T 20840.3 互感器 第 3 部分:电磁式电压互感器的补充技术要求
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 29481 电气安全标志
- GB/T 36548—2024 电化学储能电站接入电网测试规程
- GB/T 44934 电力储能用飞轮储能单元技术规范
- 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 860(所有部分) 电力自动化通信网络和系统
- DL/T 2528—2022 电力储能基本术语

3 术语和定义

DL/T 2528—2022、GB/T 44934 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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、飞轮储能辅助系统和飞轮储能管理系统构成,能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,有修改]

3.2

飞轮储能机侧变流器 **motor/generator-side conversion system for flywheel energy storage**

飞轮储能系统中能进行整流或逆变,实现飞轮储能单元交流电能量与直流电能量变换的功率变换设备。

3.3

飞轮储能网侧变流器 **grid-side power conversion system for flywheel energy storage**

飞轮储能系统中能进行整流或逆变,实现电网交流电能量与直流电能量变换的功率变换设备。

3.4

飞轮储能变流器 **flywheel energy storage conversion system**

由机侧变流器和网侧变流器组成,能实现飞轮储能单元交流电能量与电网交流电能量变换的功率变换设备或设备组合。

3.5

网侧变流器交流端口 **AC terminal of grid-side power conversion system**

飞轮储能系统中网侧变流器与工频交流电网连接的端口。

3.6

飞轮储能辅助系统 **auxiliary equipment system of the flywheel energy storage system**

维持飞轮储能系统运行的辅助电源、紧急制动装置、安全保护接地等设备组合。

3.7

紧急制动装置 **emergency braking device**

飞轮储能系统中实现飞轮储能单元紧急降速的能耗式设备及设备组合。

3.8

飞轮储能系统额定充电能量 **rated charging energy capacity of flywheel energy storage system**

飞轮储能系统以额定充电功率可持续稳定从电力系统吸收的电能量。

3.9

飞轮储能系统额定放电能量 **rated discharging energy capacity of flywheel energy storage system**

飞轮储能系统以额定放电功率可持续稳定向电力系统释放的电能量。

3.10

迟滞时间 **delay time**

飞轮储能系统自收到额定功率充(放)电指令起,至网侧变流器交流端口有功功率首次达到 10% 额定充(放)电功率的时间。

3.11

紧急制动时间 **emergency braking time**

飞轮储能单元从飞轮工作转速上限紧急降速到 50% 飞轮工作转速下限所需的时间。

4 总体要求

4.1 正常工作条件下,飞轮储能系统充(放)电能量和充(放)电功率不应低于额定充(放)电能量和额定充(放)电功率。飞轮储能系统应适用于调频、紧急功率支撑、电压控制、平滑功率输出、惯量支撑、电压暂降支撑、备用电源供电中的一种或多种应用场景。

4.2 飞轮储能系统接入电网的电压等级应根据系统额定功率、应用功能及接入点电网网架结构等条件,经过经济比选后确定。

4.3 飞轮储能系统应能接收并执行远程或就地控制指令,有功功率和无功功率的输出范围应四象限动态可调。

4.4 设备接地端子应设置明显接地标志,飞轮储能单元部分应设置“注意安全”警示标志,设备外壳及带电部分应设置“当心触电”警示标志。标志应符合 GB/T 29481 的相关规定。

4.5 飞轮储能系统应进行现场试验,包括额定充(放)电功率、额定充(放)电能量、额定功率充放电循环效率、过载、充(放)电响应时间、充(放)电调节时间、充放电转换时间、紧急制动时间、故障保护功能等。

4.6 飞轮储能系统应设铭牌。铭牌标识应包含产品型号、额定充(放)电功率、额定充(放)电能量、额定电压、防护等级、重量以及商标等。铭牌应在整个使用期内不易磨灭,且宜放在显著位置。

4.7 飞轮储能系统应设置紧急制动装置,满足飞轮储能单元紧急制动降低转速要求。

4.8 飞轮储能系统在满足应用的情况下,应选择经济、环保、高效、安全、可靠、易于维护的部件及设备。

5 系统架构

5.1 飞轮储能系统包含飞轮储能单元、飞轮储能变流器、飞轮储能辅助系统和飞轮储能管理系统,典型架构见附录 A。

5.2 飞轮储能单元包含飞轮本体及其辅助装置。

5.3 飞轮储能变流器包含机侧变流器和网侧变流器。

5.4 飞轮储能辅助系统包含辅助电源、紧急制动装置、安全保护接地等。

6 正常运行环境条件

飞轮储能系统在以下环境条件应正常工作。

- a) 环境温度: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 相对湿度: 小于 95%, 无凝露。
- c) 海拔高度: 2 000 m 以下; 当海拔高度 $> 2\,000\text{ m}$ 时, 符合 GB/T 20626.1 的相关规定。

7 系统功能要求



7.1 基本功能

7.1.1 飞轮储能系统控制方式应包括就地控制和远程控制,就地控制和远程控制之间应相互闭锁,同一时刻只允许一种控制方式。

7.1.2 飞轮储能系统应能实现启动、停机、充电、放电、紧急制动、故障复位等操作。

7.1.3 飞轮储能系统应能对系统内部开关、接触器等执行机构和辅助设备与控制操作。

7.1.4 飞轮储能系统控制模式应包括功率控制和转速控制,且能根据远程或就地的指令进行模式切换。

7.1.5 飞轮储能系统应能对飞轮储能系统报警、保护设定值等参数进行设置。

7.2 功率控制

7.2.1 飞轮储能系统应具备有功功率控制功能。

7.2.2 适用于电压控制、电压暂降支撑和无功调节应用场景的飞轮储能系统应具备无功功率控制功能。

7.3 转速控制

飞轮储能系统应具备飞轮储能单元转速控制功能。

7.4 报警和保护

7.4.1 飞轮储能网侧变流器应具备缺相、相序错误、欠压、过压、短路保护功能。

7.4.2 飞轮储能系统应具备故障诊断功能,在出现异常情况时应进行报警。报警宜采用声、光等提示方式。

7.4.3 飞轮储能系统发出报警信号后,应进入异常运行或故障保护状态。

7.4.4 飞轮储能系统报警信息应根据严重程度分为一级、二级和三级,其中:

- a) 一级报警信息为需要立即采取停机操作并对飞轮储能单元采取紧急制动措施的报警信息;
- b) 二级报警信息为除一级报警外需要采取停机操作的报警信息;
- c) 三级报警信息为除一级、二级报警之外需要加强监视的报警信息。

7.4.5 飞轮储能系统应在设备状态异常或故障时按以下要求发出报警信息并上传:

- a) 一级报警信息宜包含:飞轮转子失稳、飞轮转子振动超限、飞轮转子超速、轴承超温、飞轮转子超温等;
- b) 二级报警信息宜包含:直流过/欠压、交流过/欠压、直流过流、交流过流、飞轮储能变流器故障、控制电源故障、通信异常;
- c) 三级报警信息宜包含:飞轮储能单元温度报警、飞轮储能单元真空度报警、冷却系统报警、控制电源报警。

7.4.6 飞轮储能系统应在一级报警发出后 300 ms 内发出停机指令,并对飞轮储能单元进行降速操作。

7.4.7 飞轮储能系统应在二级报警发出后 300 ms 内发出停机指令。

7.4.8 飞轮储能系统应具备故障信息记录功能。

7.5 通信

7.5.1 飞轮储能管理系统应具备与储能电站监控系统、飞轮储能变流器、飞轮储能单元及其他管理、监控系统等设备的通信接口。飞轮储能管理系统与各层级设备通信拓扑详见附录 B。

7.5.2 飞轮储能管理系统与储能电站监控系统宜采用以太网通信接口,支持 Modbus、DL/T 634.5104、DL/T 860(所有部分)等通信协议。

7.5.3 飞轮储能管理系统与飞轮储能变流器宜采用控制器局域网(CAN)、RS-485、以太网、无线等通信接口,支持 CAN 2.0B、Modbus、DL/T 860(所有部分)、消息队列遥测传输(MQTT)等通信协议,且具有不少于一个输出硬接点接口。

7.5.4 飞轮储能管理系统与飞轮储能单元通信宜采用 Ethernet、MODBUS、PROFIBUS、CAN 等通信协议。

7.6 信息采集和监测

飞轮储能系统应能采集、监测并显示下列信息:

- a) 飞轮储能单元运行状态、转速、能量、电压、电流、温度、真空度、异常报警及故障等;
- b) 飞轮储能变流器运行状态、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;
- c) 飞轮储能系统运行状态、充电能量、放电能量、能量状态、有功功率、无功功率、异常报警及故障等。

7.7 统计

7.7.1 飞轮储能系统应具备故障信息统计功能,实现故障信息的查询。

7.7.2 飞轮储能系统宜具备充电能量、放电能量统计功能,实现充放电能量信息的查询。

7.8 数据显示和存储

7.8.1 飞轮储能系统应具备人机界面功能,能够显示运行状态、运行参数、保护参数、事件记录等信息。

7.8.2 飞轮储能系统应能存储运行状态、事件记录等信息,就地信息存储时间不少于 90 d。

8 系统性能要求

8.1 功率

飞轮储能系统的充电功率应不小于额定充电功率;放电功率应不小于额定放电功率。

8.2 能量

飞轮储能系统的充电能量应不低于飞轮储能系统额定充电能量;放电能量应不低于飞轮储能系统额定放电能量。

8.3 有功功率控制

8.3.1 飞轮储能系统响应就地有功功率控制指令时,迟滞时间应不大于 100 ms,充(放)电响应时间应不大于 200 ms,充(放)电调节时间应不大于 300 ms,充(放)电转换时间应不大于 300 ms。

8.3.2 飞轮储能系统工作在恒功率充(放)电模式,网侧变流器的交流端口有功功率不小于 80% 额定充(放)电功率时,有功功率控制偏差应不大于额定充(放)功率的 $\pm 1.5\%$;网侧变流器交流端口有功功率为 50% 额定充(放)电功率 $\sim 80\%$ 额定充(放)电功率时,有功功率控制偏差应不大于额定充(放)电功率的 $\pm 3\%$ 。

8.4 无功功率控制

8.4.1 无功功率控制的响应时间不大于 100 ms;无功功率控制的调节时间不大于 300 ms。

8.4.2 飞轮储能系统工作在恒功率充(放)电模式,网侧变流器的交流端口无功功率不小于 80% 额定无功功率时,无功功率控制偏差应不大于额定无功功率的 $\pm 1.5\%$;网侧变流器交流端口无功功率为 50% 额定无功功率 $\sim 80\%$ 额定无功功率时,无功功率控制偏差应不大于额定无功功率的 $\pm 3\%$ 。

8.5 过载

8.5.1 额定充电持续时间大于 15 min 的飞轮储能系统,在 110% 额定充电功率下,持续运行时间应不少于 10 min。

8.5.2 额定放电持续时间大于 15 min 的飞轮储能系统,在 110% 额定放电功率下,持续运行时间应不少于 10 min。

8.5.3 额定充电持续时间不大于 15 min 的飞轮储能单元,应能在 110% 额定充电功率下从工作转速下限持续运行到工作转速上限。

8.5.4 额定放电持续时间不大于 15 min 的飞轮储能单元,应能在 110% 额定放电功率下从工作转速上限持续运行到工作转速下限。

8.6 充放电循环效率

飞轮储能系统额定功率充放电循环效率应不低于 80%。

注:计算不包含辅助系统用电损耗。

8.7 热备待机功耗

飞轮储能系统热备待机功耗应不大于额定功率的 5%。

8.8 电压适应性

8.8.1 通过 380 V 和 10(6)kV 电压等级接入配电网的飞轮储能系统,电压适应性应满足表 1 的要求。

表 1 380 V 和 10(6)kV 电压等级接入配电网的飞轮储能系统电压适应性要求

电压范围 U	运行要求
$U < 85\% U_N$	符合低电压穿越的规定
$85\% U_N \leq U \leq 110\% U_N$	正常运行
$110\% U_N < U$	符合高电压穿越的规定
注: U_N 为飞轮储能系统交流端口处的额定电压。	

8.8.2 通过 10(6)kV 及以上电压等级接入电网的飞轮储能系统,电压适应性应满足表 2 的要求。

表 2 10(6)kV 及以上电压等级接入电网的飞轮储能系统电压适应性要求

电压范围 U	运行要求
$U < 90\% U_N$	符合低电压穿越的规定
$90\% U_N \leq U \leq 110\% U_N$	正常运行
$110\% U_N < U$	符合高电压穿越的规定
注: U_N 为飞轮储能系统交流端口处的额定电压。	

8.9 频率适应性

8.9.1 通过 380 V 及以上电压等级接入电网的飞轮储能系统,频率适应性应满足表 3 的要求。

表 3 380 V 及以上电压等级接入电网的飞轮储能系统频率适应性要求

频率范围 f	运行要求
$f < 46.5 \text{ Hz}$	飞轮储能系统不应处于充电状态,应根据允许运行的最低频率或电网调度机构要求与电网脱离
$46.5 \text{ Hz} \leq f < 48.5 \text{ Hz}$	处于放电状态的飞轮储能系统应保持放电状态,连续运行;处于充电状态或静置状态的飞轮储能系统应在 0.2 s 内转为放电状态,并持续放电
$48.5 \text{ Hz} \leq f \leq 50.5 \text{ Hz}$	正常充电或放电运行
$50.5 \text{ Hz} < f \leq 51.5 \text{ Hz}$	处于充电状态的飞轮储能系统应保持充电状态,连续运行;处于放电状态或静置状态的储能系统应在 0.2 s 内转为充电状态,并持续充电
$f > 51.5 \text{ Hz}$	飞轮储能系统不应处于放电状态,应根据允许运行的最高频率或电网调度机构要求与电网脱离
注: f 为飞轮储能系统交流端口的电网频率。	

8.9.2 飞轮储能系统在 500 ms 的时间窗口内,在正常运行频率范围内的频率变化率不大于 ± 2 Hz/s 时不应脱网。

8.10 电能质量适应性

当飞轮储能系统交流端口的谐波值满足 GB/T 14549、三相电压不平衡度满足 GB/T 15543 的规定时,飞轮储能系统应正常运行。

8.11 故障穿越

通过 380 V 及以上电压等级接入电网的飞轮储能系统,应具备低电压故障穿越和高电压故障穿越的能力。

9 飞轮储能辅助系统

9.1 辅助电源

9.1.1 外部供电飞轮储能变流器控制系统的辅助供电电源应在额定工作电压的 80%~115% 范围内保持供电稳定性。

9.1.2 对飞轮储能单元安全稳定运行有影响的重要负荷应配置不间断电源,可采用飞轮储能单元作为不间断电源的储能装置。

9.1.3 采用磁轴承的飞轮储能系统,在不低于飞轮工作转速上限的三分之一时,磁轴承控制器宜具备自供电能力。

9.2 紧急制动装置

制动装置包含释能电阻和投切元件,应根据指令或在紧急故障下自动实现快速降低飞轮储能单元运行转速,应能在标称的紧急制动时间内将飞轮储能单元转速从工作转速上限降至 50% 工作转速下限,且不对设备造成永久性损害。

9.3 安全保护接地

飞轮储能系统所有可接触导电部件应通过内部等电位保护连接与外部保护接地极连接,外部保护接地极可位于飞轮储能变流器内部或外部,在安装时通过外部保护接地导体接入安装场所的接地网络。

10 系统试验方法

10.1 一般规定

10.1.1 试验前,应收集飞轮储能系统的相关技术资料,编制试验方案并制定安全措施。

10.1.2 检测仪器、仪表应经过检定或校准,并在有效期内。

10.1.3 试验过程中应记录测试数据和环境条件,试验完成后应出具试验报告。试验报告应包括试验条件、检测设备、试验依据、试验结果等。

10.1.4 试验时,如果不具备飞轮储能单元转速直接测量条件,可通过飞轮储能单元发电/电动机定子电压/电流频率测量值以及电机极对数间接计算作为转速试验值。

10.2 试验项目

飞轮储能系统电压适应性、频率适应性、电能质量适应性、故障穿越试验按照 GB/T 36548—2024 规定的方法进行,其他电力储能用飞轮储能系统功能和性能试验按表 4 进行。

表 4 电力储能用飞轮储能系统检测项目

序号	试验项目		试验方法 章条号	技术要求 章条号
1	功能	就地控制基本功能试验	10.7.1	7.1
2		远程控制基本功能试验	10.7.2	7.1
3	报警与保护	飞轮转子超速保护功能试验	10.8.1	7.4;9.2
4		直流过压保护功能试验	10.8.2	7.4
5		直流欠压保护功能试验	10.8.3	7.4
6		交流过压保护功能试验	10.8.4	7.4
7		交流欠压保护功能试验	10.8.5	7.4
8		直流过流保护功能试验	10.8.6	7.4
9		交流过流保护功能试验	10.8.7	7.4
10		过温保护功能试验	10.8.8	7.4
11		真空度保护功能试验	10.8.9	7.4
12		通信故障保护功能试验	10.8.10	7.4
13		储能变流器故障保护功能试验	10.8.11	7.4
14		冷却系统故障保护功能试验	10.8.12	7.4
15		飞轮储能系统控制电源短时失电保护功能试验	10.8.13	7.4;9.1.2;9.1.3
16		飞轮储能系统控制电源长时失电保护功能试验	10.8.14	7.4;9.1.2;9.1.3
17	通信、信息采集和监测、统计、数据显示和存储		10.9	7.5~7.8
18	电气性能	有功功率控制试验	10.10	8.3.2,7.2.1
19		无功功率控制试验	10.11	7.2.2;8.4
20		转速控制试验	10.12	7.3
21		热备待机功耗	10.12	8.7
22		额定功率充放电试验	10.13	8.1;8.2;8.3;8.6
23		充放电转换时间	10.14	8.3.1
24		过载	10.15	8.5
25	辅助系统	辅助系统	10.16	9.1.1;9.3

10.3 试验条件

10.3.1 环境条件

飞轮储能系统性能试验在以下环境条件下进行：

- a) 环境温度： $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $\leq 95\%$ ；
- c) 大气压力： $86\text{ kPa}\sim 106\text{ kPa}$ 。

10.3.2 电气条件

试验接入的电网的电能质量应满足以下要求：

- a) 谐波电压不超过 GB/T 14549 规定的限值；
- b) 间谐波电压不超过 GB/T 24337 规定的限值；
- c) 电网电压偏差不超过 GB/T 12325 规定的限值；
- d) 电压波动和闪变值不超过 GB/T 12326 规定的限值；
- e) 三相电压不平衡度不超过 GB/T 15543 规定的限值；
- f) 电网频率偏差不超过 GB/T 15945 规定的限值。

10.4 试验仪器仪表

电压/电流传感器、温/湿度计、声级计和数据采集装置的精度等级应至少满足表 5 的要求，试验仪器、仪表应满足以下要求：

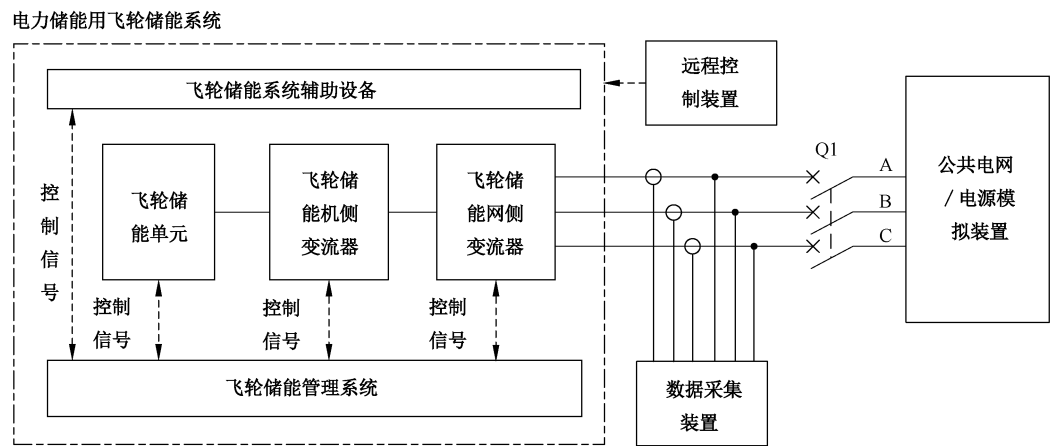
- a) 电压传感器符合 GB/T 20840.3 的规定；
- b) 电流传感器符合 GB/T 20840.2 的规定；
- c) 电压传感器、电流传感器响应时间不大于 $50\text{ }\mu\text{s}$ ，带宽不小于 10 kHz ；
- d) 数据采集装置的采样频率不小于 10 kHz 。

表 5 测量仪器准确度等级

设备仪器	精度
电压传感器	0.2 级
电流传感器	0.2 级
温度计	$\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
湿度计	$\pm 3\%$
声级计 	$\pm 1\text{ dB}$
数据采集装置	0.2 级
注：温、湿度计用于检测环境条件。	

10.5 试验回路

飞轮储能系统性能试验回路见图 1。



标引符号说明：
Q1 —— 飞轮储能系统并网开关；
A、B、C —— 公共电网/电源模拟装置三相电源 A、B、C 三相。

图 1 性能试验回路示意图

10.6 公共电网/电源模拟装置

试验接入的公共电网/电源模拟装置应满足以下要求：

- a) 电能双向流动；
- b) 额定功率不小于试验飞轮储能系统额定功率的 1.2 倍；
- c) 电能质量满足 8.10 的规定。



10.7 基本功能试验

10.7.1 就地方式基本功能试验

就地方式基本功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路，闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源，系统完成自检，工作正常，闭合开关 Q1，飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 选择飞轮储能系统控制方式为就地位。
- c) 通过远程控制装置向飞轮储能系统下达启动指令，飞轮储能系统应无响应。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置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下限。
- e) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行，持续时间 2 min 以上。
- f) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置设置飞轮储能系统为功率控制模式，并向飞轮储能系统下达充电指令，功率目标值不低于 20% 额定充电功率，飞轮储能系统以设定的功率进行充电操作。
- g) 飞轮储能系统充电功率稳定在功率目标值后，通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置设置飞轮储能系统为转速控制模式，转速目标值为飞轮储能单元工作转速区间内某一具体值，飞轮储能系统进入转速控制模式。
- h) 飞轮储能单元转速稳定在目标值后，通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置设置飞轮储能系统为功率控制模式，并向飞轮储能系统下达放电指令，功率目标值不低于 20% 额定放电功率，飞轮储能系统以设定的功率进行放电操作。

- i) 飞轮储能系统放电功率稳定在功率目标值后,通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令,飞轮储能系统停止放电,飞轮储能单元开始自由降速。
- j) 试验过程中,以 1 ms 为步长、以 20 ms 为滑窗周期同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;观察并确认飞轮储能系统内部开关、接触器等执行机构和辅助设备动作是否正常;核对飞轮储能系统是否满足 7.1 的要求。

10.7.2 远程方式基本功能试验

远程方式基本功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 选择飞轮储能系统控制方式为远程位。
- c) 通过就地控制装置向飞轮储能系统下达启动指令,飞轮储能系统应无响应。
- d) 通过远程控制装置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下限。
- e) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- f) 通过远程控制装置设置飞轮储能系统为功率控制模式,并向飞轮储能系统下达充电指令,功率目标值不低于 20% 额定充电功率,飞轮储能系统以设定的功率进行充电操作。
- g) 飞轮储能系统充电功率稳定在功率目标值后,通过远程控制装置设置飞轮储能系统为转速控制模式,转速目标值为飞轮储能单元工作转速区间内某一具体值,飞轮储能系统进入转速控制模式。
- h) 飞轮储能单元转速稳定在目标值后,通过远程控制装置设置飞轮储能系统为功率控制模式,并向飞轮储能系统下达放电指令,功率目标值不低于 20% 额定放电功率,飞轮储能系统以设定的功率进行放电操作。
- i) 飞轮储能系统放电功率稳定在功率目标值后,通过远程控制装置向飞轮储能系统下达停机指令,飞轮储能系统停止放电,飞轮储能单元开始自由降速。
- j) 试验过程中,以 1 ms 为步长、以 20 ms 为滑窗周期同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;观察并确认飞轮储能系统内部开关、接触器等执行机构和辅助设备动作是否正常;核对飞轮储能系统是否满足 7.1 的要求。

10.8 报警与保护

10.8.1 飞轮转子超速保护功能试验

飞轮转子超速保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限;飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- c) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,飞轮储能单元转速上升至飞轮工作转速上限,保持飞轮工作转速上限恒转速持续运行 2 min 以上。
- d) 从飞轮储能系统超速保护值的 100% 开始,以飞轮工作转速上限的 0.5% 为调节步长,向下调节飞轮储能系统超速保护值,直至飞轮储能系统超速保护动作;飞轮储能系统进入故障保护状态,发出报警信息,并进行飞轮储能单元紧急制动操作。

- e) 试验过程中,以不超过 1s 的周期记录飞轮储能单元转速;记录飞轮储能单元转速从工作转速上限到 50% 飞轮工作转速下限的时间为紧急制动时间;记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- f) 飞轮储能单元转速降至 50% 飞轮工作转速下限后,恢复飞轮储能系统的超速保护值至正常值;通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达故障复位指令;飞轮储能系统解除故障保护状态。
- g) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限;飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- h) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率,持续运行 2 min 或飞轮储能单元转速达到工作转速上限。
- i) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- j) 核对飞轮储能系统是否具备故障复位功能和飞轮转子超速保护功能,核对紧急制动装置能否正常运行。

10.8.2 直流过压保护功能试验

直流过压保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,从飞轮储能系统直流过压保护值的 100% 开始,以额定直流电压的 0.5% 为调节步长,向下调节飞轮储能系统直流过压保护值,直至飞轮储能系统直流过压保护动作;飞轮储能系统停止充电操作,进入故障保护状态,发出报警信息。
- f) 试验过程中,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- g) 恢复飞轮储能系统的直流过压保护值至正常值;通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达故障复位指令;飞轮储能系统解除故障保护状态。
- h) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限;飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率,持续运行 2 min 或飞轮储能单元转速达到飞轮工作转速上限。
- j) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- k) 核对飞轮储能系统是否具备故障复位功能和直流过压保护功能。

10.8.3 直流欠压保护功能试验

直流欠压保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,从飞轮储能系统直流欠压保护值的 100% 开始,以额定直流电压的 0.5% 为调节步长,向上调节飞轮储能系统直流欠压保护值,直至飞轮储能系统直流欠压保护动作;飞轮储能系统停止充电操作,进入故障保护状态,发出报警信息。
- f) 试验过程中,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- g) 恢复飞轮储能系统的直流欠压保护值至正常值;通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达故障复位指令;飞轮储能系统解除故障保护状态。
- h) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限;飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率,持续运行 2 min 或飞轮储能单元转速达到飞轮工作转速上限。
- j) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- k) 核对飞轮储能系统是否具备故障复位功能和直流欠压保护功能。

10.8.4 交流过压保护功能试验

交流过压保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,从飞轮储能系统交流过压保护值的 100% 开始,以额定交流电压的 0.5% 为调节步长,向下调节飞轮储能系统交流过压保护值,直至飞轮储能系统交流过压保护动作;飞轮储能系统停止充电操作,进入故障保护状态,发出报警信息。
- f) 试验过程中,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- g) 恢复飞轮储能系统的交流过压保护值至正常值;通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达故障复位指令;飞轮储能系统解除故障保护状态。
- h) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限;飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。

- i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率,持续运行 2 min 或飞轮储能单元转速达到飞轮工作转速上限。
- j) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- k) 核对飞轮储能系统是否具备故障复位功能和交流过压保护功能。

10.8.5 交流欠压保护功能试验

交流欠压保护试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,从飞轮储能系统交流欠压保护值的 100% 开始,以额定交流电压的 0.5% 为调节步长,向上调节飞轮储能系统交流欠压保护值,直至飞轮储能系统交流欠压保护动作;飞轮储能系统停止充电操作,进入故障保护状态,发出报警信息。
- f) 试验过程中,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- g) 恢复飞轮储能系统的交流欠压保护值至正常值;通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达故障复位指令;飞轮储能系统解除故障保护状态。
- h) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限;飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率,持续运行 2 min 或飞轮储能单元转速达到飞轮工作转速上限。
- j) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- k) 核对飞轮储能系统是否具备故障复位功能和交流欠压保护功能。

10.8.6 直流过流保护功能试验

直流过流保护试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,从飞轮储能系统直流过流保护值的 100% 开始,以额定直流电压的 0.5% 为调节步长,向下调节飞轮储能系统直流过流保护值,直至飞轮储能系统直流过流保护动作;飞轮

储能系统停止充电操作,进入故障保护状态,发出报警信息。

- f) 试验过程中,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- g) 恢复飞轮储能系统的直流过流保护值至正常值;通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达故障复位指令;飞轮储能系统解除故障保护状态。
- h) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限;飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率,持续运行 2 min 或飞轮储能单元转速达到飞轮工作转速上限。
- j) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- k) 核对飞轮储能系统是否具备故障复位功能和直流过流保护功能。

10.8.7 交流过流保护功能试验

交流过流保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,从飞轮储能系统交流过流保护值的 100% 开始,以额定交流电压的 0.5% 为调节步长,向下调节飞轮储能系统交流过流保护值,直至飞轮储能系统交流过流保护动作;飞轮储能系统停止充电操作,进入故障保护状态,发出报警信息。
- f) 试验过程中,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- g) 恢复飞轮储能系统的交流过流保护值至正常值;通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达故障复位指令;飞轮储能系统解除故障保护状态。
- h) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限;飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率,持续运行 2 min 或飞轮储能单元转速达到飞轮工作转速上限。
- j) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- k) 核对飞轮储能系统是否具备故障复位功能和交流过流保护功能。

10.8.8 过温保护功能试验

过温保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭

合开关 Q1, 飞轮储能单元处于静止状态。

- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行, 持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令, 设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中, 从飞轮储能系统过温保护值的 100% 开始, 以过温保护值的 0.5% 为调节步长, 向下调节飞轮储能系统过温保护值, 直至飞轮储能系统过温保护动作; 飞轮储能系统停止充电操作, 进入故障保护状态, 发出报警信息。
- f) 试验过程中, 以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期, 同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值, 以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速; 记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- g) 恢复飞轮储能系统的过温保护值至正常值; 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达故障复位指令; 飞轮储能系统解除故障保护状态。
- h) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限; 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行, 持续时间 2 min 以上。
- i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令, 设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率, 持续运行 2 min 或飞轮储能单元转速达到飞轮工作转速上限。
- j) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- k) 核对飞轮储能系统是否具备故障复位功能和过温保护功能。

10.8.9 真空度保护功能试验

真空度保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路, 闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源, 系统完成自检, 工作正常, 闭合开关 Q1, 飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行, 持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令, 设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中, 从飞轮储能系统真空度保护值的 100% 开始, 以真空度保护值的 0.5% 为调节步长, 向下调节飞轮储能系统真空度保护值, 直至飞轮储能系统真空度保护动作; 飞轮储能系统停止充电操作, 进入故障保护状态, 发出报警信息。
- f) 试验过程中, 以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期, 同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值, 以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速; 记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- g) 恢复飞轮储能系统的真空度保护值至正常值; 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达故障复位指令; 飞轮储能系统解除故障保护状态。
- h) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限; 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行, 持续时间 2 min 以上。
- i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令, 设置飞轮储能系

统充电功率不小于 10% 额定功率,持续运行 2 min 或飞轮储能单元转速达到飞轮工作转速上限。

- j) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- k) 核对飞轮储能系统是否具备故障复位功能和真空度保护功能。

10.8.10 通信故障保护功能试验

通信故障保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,通过切断通信链路等手段设置通信故障,飞轮储能系统触发通信故障,停止充电操作,进入故障保护状态,发出报警信息。
- f) 试验过程中,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- g) 核对飞轮储能系统是否具备通信故障保护功能。

10.8.11 储能变流器故障保护功能试验

储能变流器故障保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,通过模拟手段将网侧变流器置于故障状态,飞轮储能系统触发储能变流器故障,停止充电操作,进入故障保护状态,发出报警信息。
- f) 解除网侧变流器故障状态;通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达故障复位指令,复位操作完成后向飞轮储能系统启动指令,飞轮储能单元转速上升至飞轮工作转速下限。
- g) 重复步骤 c)~d)。
- h) 充电过程中,通过模拟手段将机侧变流器置于故障状态,飞轮储能系统触发储能变流器故障,停止充电操作,进入故障保护状态,发出报警信息。
- i) 试验过程中,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- j) 核对飞轮储能系统是否满足 7.4 二级报警与保护要求;核对飞轮储能系统是否具备储能变流器故障保护功能。

10.8.12 冷却系统故障保护功能试验

冷却系统故障保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,停止或限制冷却系统工作,飞轮储能系统触发冷却系统故障,停止充电操作,进入故障保护状态,发出报警信息。
- f) 试验过程中,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;记录飞轮储能系统报警和保护动作信息。
- g) 恢复冷却系统工作;通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- h) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率,持续运行 2 min 或飞轮储能单元转速达到飞轮工作转速上限。
- j) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- k) 核对飞轮储能系统是否满足 7.1.2 故障复位要求和 7.4 二级报警与保护要求;核对飞轮储能系统是否具备冷却系统故障保护功能。

10.8.13 控制电源报警保护功能试验

飞轮储能系统的控制电源短时失电保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,断开飞轮储能系统控制回路外部供电电源;飞轮储能系统触发控制电源报警,保持充电状态,发出报警信息。
- f) 1 min 后恢复飞轮储能系统控制回路外部供电电源,自动解除控制电源报警。
- g) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- h) 核对飞轮储能系统是否满足 7.4 三级报警与保护要求;核对飞轮储能系统是否具备控制电源报警保护功能;核对不间断电源是否正常工作。

10.8.14 控制电源故障保护功能试验

飞轮储能系统的控制电源长时失电保护功能试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置飞轮储能系统充电功率不小于 10% 额定功率。
- e) 充电过程中,断开飞轮储能系统控制回路外部供电电源;飞轮储能系统触发控制电源报警,保持充电状态,发出报警信息。
- f) 1 min 后,飞轮储能系统触发控制电源故障,停止充电操作,飞轮储能单元开始降速。
- g) 核对飞轮储能系统是否满足 7.4 二级报警与保护要求;核对飞轮储能系统是否具备控制电源故障保护功能;核对不间断电源是否正常工作。

10.9 通信、信息采集和监测、统计、数据显示和存储

通信、信息采集和监测、统计、数据显示和存储试验按以下步骤进行:

- a) 试验项目 10.10~10.15 试验过程中,飞轮储能系统无通信故障,飞轮储能系统信息采集和监测、统计、数据显示和存储功能正常;
- b) 核对飞轮储能系统通信、信息采集和监测、统计、数据显示和存储功能是否满足 7.5~7.8 的要求。

10.10 有功功率控制试验

有功功率控制试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充(放)电指令,按照图 2 设置飞轮储能系统充(放)电功率,每个功率设置值持续运行时间不少于 1 min 或飞轮储能单元转速达到飞轮工作转速上(下)限。
- e) 试验过程中,以 1 ms 为步长、以 20 ms 为滑窗周期同步记录网侧变流器交流端口有功功率有效值,以不超过 1 s 的周期记录飞轮储能单元转速;绘制飞轮储能系统功率—时间曲线。
- f) 取每个功率设置值飞轮储能系统稳定运行时间内的网侧变流器交流端口有功功率有效值的平均值为该功率设置值的有功功率实际值。
- g) 通过飞轮储能管理系统或其他就地控制装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- h) 按公式(1)计算飞轮储能系统充电工况各功率设置值下的有功功率控制偏差:

$$\Delta P\% = \frac{P_{\text{Set}} - P_{\text{mes}}}{P_{\text{e}}^{\text{ch}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\Delta P\%$ —— 充电有功功率控制偏差;

P_{Set} —— 有功功率设置值,单位为千瓦(kW);

P_{mes} —— 充电有功功率实际值,单位为千瓦(kW);

P_{e}^{ch} —— 飞轮储能系统额定充电功率,单位为千瓦(kW)。

i) 按公式(2)计算飞轮储能系统放电工况各功率设置值下的有功功率控制偏差:

$$\Delta P\% = \frac{P_{\text{Set}} - P_{\text{mes}}}{P_{\text{e}}^{\text{dch}}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

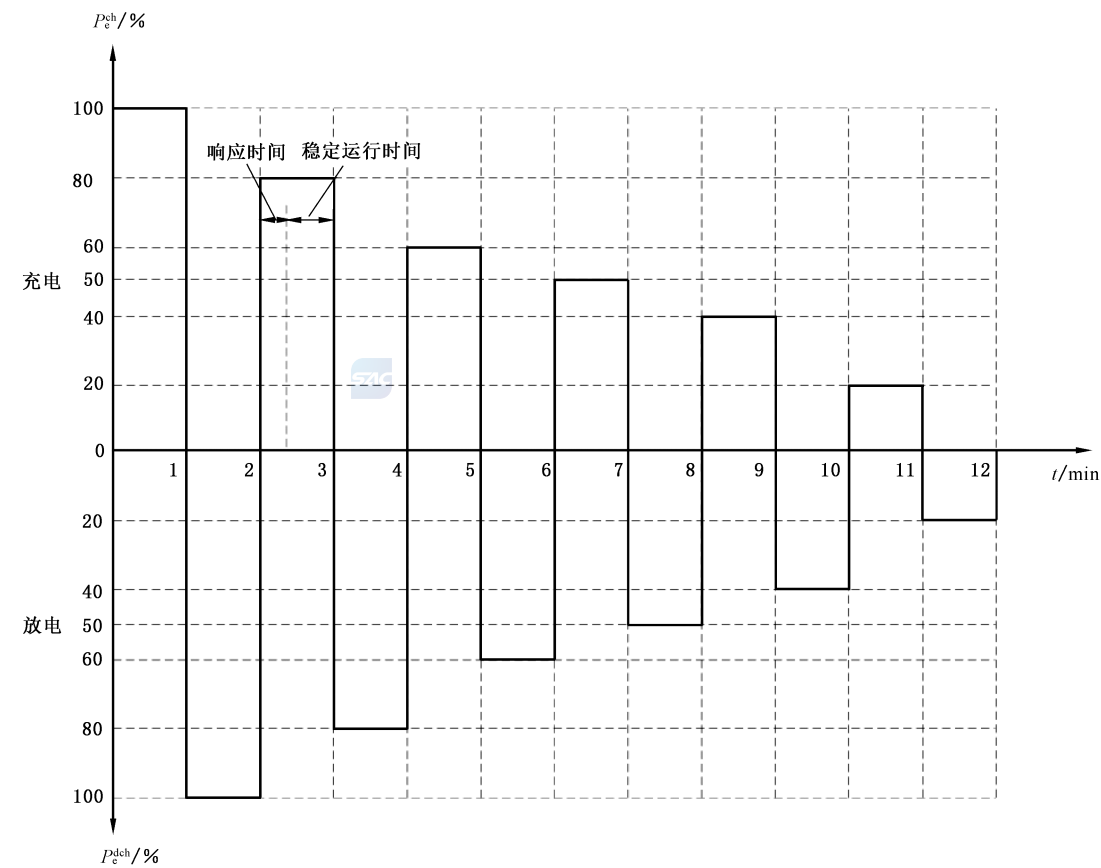
- 式中:
- $\Delta P\%$

——放电有功功率控制偏差;
- P_{Set}

——有功功率设置值,单位为千瓦(kW);
- P_{mes}

——放电有功功率实际值,单位为千瓦(kW);
- $P_{\text{e}}^{\text{dch}}$

——飞轮储能系统额定放电功率,单位为千瓦(kW)。
- j) 重复步骤 b)~i)两次。
- k) 取 3 次试验每个充(放)电功率设置值下的有功功率控制偏差 $\Delta P\%$ 的最大值为飞轮储能系统有功功率控制偏差的试验结果。



注:图中 P_{e}^{ch} 为飞轮储能系统额定充电功率, $P_{\text{e}}^{\text{dch}}$ 为飞轮储能系统额定放电功率。

图 2 有功功率控制曲线

10.11 无功功率控制试验

无功功率控制试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。

- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,设置功率目标值为 50% 额定充电功率。
- e) 按照图 3 设置飞轮储能系统交流端口输出无功功率,其中最大感性无功、最大容性无功稳定运行时间均不少于 1 min 或飞轮储能单元达到飞轮工作转速上限。
- f) 利用数据采集装置,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录飞轮储能系统稳定运行时间内的交流端口无功功率有效值。
- g) 取每个无功功率设置值飞轮储能系统稳定运行时间内的交流端口无功功率有效值的平均值为该无功功率设置值的无功功率实际值。
- h) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,飞轮储能单元转速上升至飞轮工作转速上限,飞轮储能单元飞轮工作转速上限恒转速持续运行 2 min 以上。
- i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达 50% 额定功率放电指令。
- j) 按照图 3 设置飞轮储能系统交流端口输出无功功率,其中最大感性无功、最大容性无功稳定运行时间均不少于 1 min 或飞轮储能单元达到飞轮工作转速下限。
- k) 利用数据采集装置,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录飞轮储能系统稳定运行时间内的交流端口无功功率有效值。
- l) 取每个无功功率设置值飞轮储能系统稳定运行时间内的交流端口无功功率有效值的平均值为该无功功率设置值的无功功率实际值。
- m) 按公式(3)计算充(放)电容性无功功率和感性无功功率控制偏差:

$$\Delta Q\% = \frac{|Q_{\text{Set}} - Q_{\text{mes}}|}{Q_n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

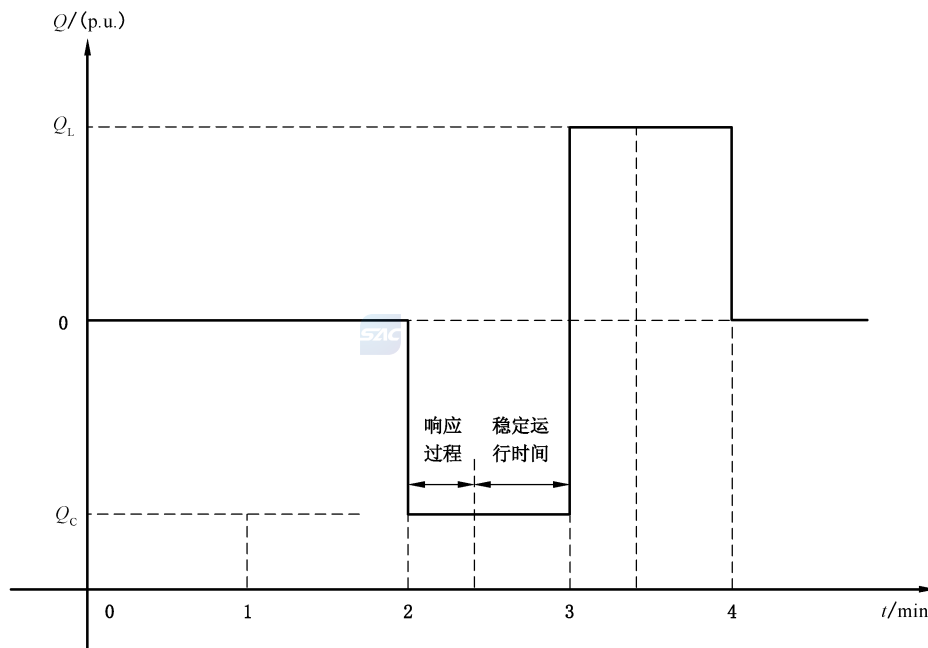
$\Delta Q\%$ —— 无功功率控制偏差;

Q_{Set} —— 无功功率设置值,单位为千乏(kVar);

Q_{mes} —— 无功功率实际值,单位为千乏(kVar);

Q_n —— 飞轮储能系统网侧变流器额定无功功率,单位为千乏(kVar)。

- n) 记录飞轮储能系统从接收到无功功率指令的时刻到交流端口无功功率首次达到 90% 最大感性(容性)无功功率的时间为本次试验的无功功率控制响应时间 t_d^Q 。
- o) 记录飞轮储能系统从接收到无功功率指令的时刻到交流端口无功功率首次达到最大感性(容性)无功功率且始终稳定在规定的偏差以内的时间为本次试验的无功功率控制调节时间 t_s^Q 。
- p) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置设置飞轮储能系统为转速控制模式,设置飞轮储能单元目标转速为工作转速下限,飞轮储能单元降速至工作转速下限。
- q) 重复步骤 c)~p)两次;
- r) 取 3 次试验每个无功功率设置值下的无功功率控制偏差 $\Delta Q\%$ 的最大值为飞轮储能系统无功功率控制偏差的试验结果。
- s) 取 3 次试验每个无功功率设置值下的无功功率控制响应时间 t_d^Q 的最大值为飞轮储能系统无功功率控制响应时间的试验结果。
- t) 取 3 次试验每个无功功率设置值下的无功功率控制调节时间 t_s^Q 的最大值为飞轮储能系统无功功率控制调节时间的试验结果。
- u) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达停机指令。



注： Q_L 和 Q_C 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。

图3 无功功率控制曲线

10.12 转速控制试验

转速控制试验按以下步骤进行。

- 按图1连接试验回路，闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源，系统完成自检，工作正常，闭合开关Q1，飞轮储能单元处于静止状态。
- 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行，持续时间2 min以上。
- 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置设置飞轮储能系统为转速控制模式，按照图4设置飞轮储能单元目标转速；每个转速设置值下，飞轮储能系统稳定运行时间均不少于10 min。
- 试验过程中，利用数据采集装置，以1 ms为步长、20 ms为滑窗周期，同步记录飞轮储能网侧变流器交流端口有功功率有效值、控制和辅助系统供电端口的有功功率有效值；以不超过1 s的周期记录飞轮储能单元转速；绘制飞轮储能系统转速—时间曲线。
- 取每个转速设置值下的飞轮储能单元转速稳定运行时段内的转速平均值为转速实际值。
- 按公式(4)计算各转速设置值下的转速控制偏差：

$$\Delta n\% = \frac{|n_{\text{Set}} - n_{\text{mes}}|}{n_{\text{max}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\Delta n\%$ ——转速控制偏差；

n_{Set} ——转速设置值，单位为转每分钟(r/min)；

n_{mes} ——转速实际值，单位为转每分钟(r/min)；

n_{max} ——飞轮储能单元工作转速上限，单位为转每分钟(r/min)。

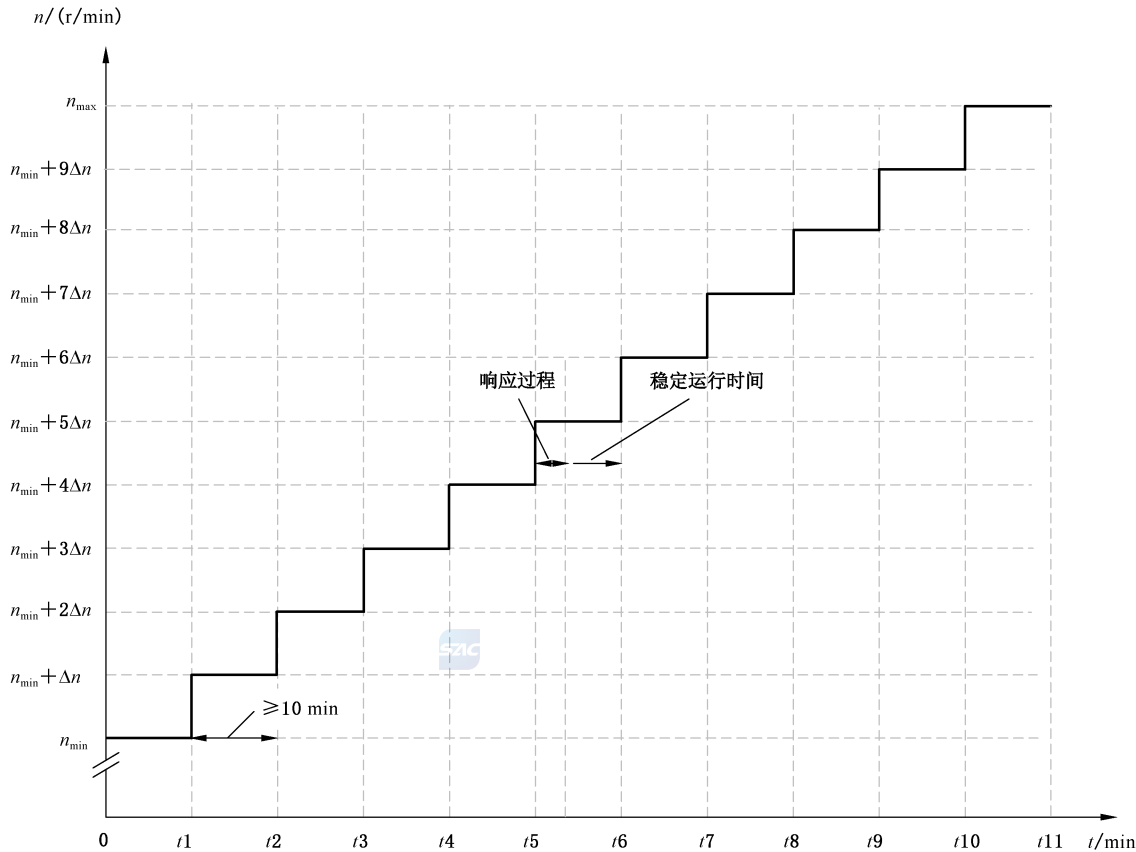
- 按公式(5)计算飞轮储能系统的在飞轮储能单元运行在各转速设置值时的热备待机功耗：

$$P_b = P_p + P_s \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- P_b ——飞轮储能系统热备待机功耗,单位为千瓦(kW)；
- P_p ——飞轮储能系统交流端口有功功率,单位为千瓦(kW)；
- P_s ——飞轮储能系统控制和辅助系统供电端口的有功功率,单位为千瓦(kW)。

i) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达停机指令。



注： $n_{\min}$ 为飞轮储能单元工作转速下限； $n_{\max}$ 为飞轮储能单元工作转速上限； Δn 为转速调节步长 $\Delta n = 0.1 \times (n_{\max} - n_{\min})$ 。

图 4 转速控制曲线

10.13 额定功率充放电试验

额定功率充放电试验按以下步骤进行。

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态。
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限。
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上。
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达额定功率充电指令,飞轮储能变流器控制飞轮储能单元从飞轮工作转速下限充电至飞轮工作转速上限,然后保持飞轮工作转速上限恒转速运行 2 min 以上。
- e) 利用数据采集装置记录飞轮储能系统接收到充电指令时刻,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录飞轮储能网侧变流器交流端口有功功率有效值;记录飞轮储能单元从飞轮工作

转速下限到飞轮工作转速上限充电过程的充电能量 E^{ch} 。

- f) 记录飞轮储能系统从接收到充电指令时刻到交流端口有功功率首次达到 10% 额定充电功率的时间为本次试验的充电迟滞时间 t_d^{ch} 。
- g) 记录飞轮储能系统从接收到充电指令时刻到交流端口有功功率首次达到 90% 额定充电功率的时间为本次试验的充电响应时间 t_r^{ch} 。
- h) 记录飞轮储能系统从接收到充电指令时刻到交流端口有功功率首次达到额定充电功率且始终稳定在规定的偏差以内的时间为本次试验的充电调节时间 t_s^{ch} 。
- i) 记录飞轮储能系统充电功率在稳定运行的时间内功率平均值为本次试验的充电功率 P^{ch} 。
- j) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达额定功率放电指令,飞轮储能变流器控制飞轮储能单元从飞轮工作转速上限放电至飞轮工作转速下限,然后保持飞轮工作转速下限恒转速运行。
- k) 利用数据采集装置记录飞轮储能系统收到放电指令时刻,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录飞轮储能网侧变流器交流端口有功功率有效值,记录飞轮储能系统从飞轮工作转速上限到飞轮工作转速下限放电过程的放电能量 E^{dch} 。
- l) 记录飞轮储能系统从接收到放电指令时刻到交流端口有功功率首次从稳态值达到 10% 额定放电功率的时间为本次试验的放电迟滞时间 t_d^{dch} 。
- m) 记录飞轮储能系统从接收到放电指令时刻到交流端口有功功率首次达到 90% 额定放电功率的时间为本次试验的放电响应时间 t_r^{dch} 。
- n) 记录飞轮储能系统从接收到放电指令时刻到交流端口有功功率首次达到额定放电功率且始终稳定在规定的偏差以内的时间为本次试验的放电调节时间 t_s^{dch} 。
- o) 记录飞轮储能系统放电功率持续稳定在规定的偏差内阶段的功率平均值为本次试验的放电功率 P^{dch} 。
- p) 重复步骤 c)~o) 两次。
- q) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达停机指令。
- r) 取 3 次试验充电功率 P^{ch} 的最小值为飞轮储能系统额定充电功率 P_e^{ch} 。
- s) 取 3 次试验放电功率 P^{dch} 的最小值为飞轮储能系统额定放电功率 P_e^{dch} 。
- t) 取 3 次试验充电能量 E^{ch} 的最小值为飞轮储能系统额定充电能量 E_e^{ch} 。
- u) 取 3 次试验放电能量 E^{dch} 的最小值为飞轮储能系统额定放电能量 E_e^{dch} 。
- v) 按公式(6)计算飞轮储能系统额定功率充放电循环效率:

$$\eta_{\text{cycle}} = \frac{E_e^{\text{dch}}}{E_e^{\text{ch}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

η_{cycle} —— 额定功率充放电循环效率, %;

E_e^{dch} —— 额定功率放电能量,单位为千瓦时(kWh);

E_e^{ch} —— 额定功率充电能量,单位为千瓦时(kWh)。

- w) 取 3 次试验充电迟滞时间 t_d^{ch} 的最大值为飞轮储能系统充电迟滞时间 t_d^{ch} ;取 3 次试验放电迟滞时间 t_d^{dch} 的最大值为飞轮储能系统放电迟滞时间 t_d^{dch} ;取飞轮储能系统充电迟滞时间 t_d^{ch} 与放电迟滞时间 t_d^{dch} 的平均值为飞轮储能系统迟滞时间 t_d 。
- x) 取 3 次试验充电响应时间的最大值为飞轮储能系统充电响应时间。
- y) 取 3 次试验放电响应时间的最大值为飞轮储能系统放电响应时间。
- z) 取 3 次试验充电调节时间的最大值为飞轮储能系统充电调节时间。
- aa) 取 3 次试验放电调节时间的最大值为飞轮储能系统放电调节时间。

10.14 充放电转换时间

充放电转换时间试验按以下步骤进行：

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态；
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限；
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行,持续时间 2 min 以上；
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达额定功率充电指令,飞轮实际充电功率稳定在目标值后,向飞轮储能系统下达额定功率放电指令,直至飞轮储能系统实际放电功率稳定在目标值；
- e) 充电-放电过程中,利用数据采集装置,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录飞轮储能网侧变流器交流端口有功功率有效值；
- f) 记录充电到放电转换过程中,交流端口有功功率首次下降到 90% 额定充电功率时刻到首次上升到 90% 额定放电功率的时间为飞轮储能系统充电到放电转换时间；
- g) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达停机指令；
- h) 重复步骤 b)~g)两次；
- i) 取 3 次试验充电到放电转换时间的最大值为飞轮储能系统的充电到放电转换时间 t^{c2d} ；
- j) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限,保持飞轮工作转速下限恒转速持续运行 2 min 以上；
- k) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达充电指令,飞轮储能单元转速上升至飞轮工作转速上限,飞轮储能单元飞轮工作转速上限恒转速持续运行 2 min 以上；
- l) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达额定功率放电指令,飞轮实际放电功率稳定在目标值后,向飞轮储能系统下达额定功率充电指令,直至飞轮储能系统实际充电功率稳定在目标值；
- m) 放电-充电过程中,利用数据采集装置,以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期,同步记录飞轮储能网侧变流器交流端口有功功率有效值；
- n) 记录放电到充电转换过程中,交流端口有功功率首次下降到 90% 额定放电功率时刻到首次上升到 90% 额定充电功率的时间为飞轮储能系统放电到充电转换时间；
- o) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达停机指令；
- p) 重复步骤 j)~o)两次；
- q) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达停机指令；
- r) 取 3 次试验放电到充电转换时间的最大值为飞轮储能系统的放电到充电转换时间 t^{d2c} ；
- s) 取充电到放电转换时间 t^{c2d} 与放电到充电转换时间 t^{d2c} 的平均值为飞轮储能系统充放电转换时间 $t_{\text{trans } \circ}$

10.15 过载

10.15.1 额定充(放)电持续时间大于 15 min 的飞轮储能系统,过载试验按以下步骤进行：

- a) 按图 1 连接试验回路,闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源,系统完成自检,工作正常,闭合开关 Q1,飞轮储能单元处于静止状态；
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限；

- c) 飞轮储能单元飞轮按工作转速下限恒转速持续运行 2 min 以上；
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达 110% 额定功率充电指令，飞轮储能系统恒功率充电持续 10 min 及以上；
- e) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达 110% 额定功率放电指令，飞轮储能系统恒功率放电持续 10 min 及以上；
- f) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达停机指令；
- g) 充放电过程中，利用数据采集装置，以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期，同步记录飞轮储能网侧变流器交流端口有功功率有效值；
- h) 检查飞轮储能系统、飞轮储能单元、飞轮储能变流器过载运行数据、报警和保护信息；
- i) 设备无异常、无故障，判定飞轮储能系统具备过载能力。

10.15.2 额定充(放)电持续时间不大于 15 min 的飞轮储能系统，过载试验按以下步骤进行：

- a) 按图 1 连接试验回路，闭合飞轮储能系统控制和辅助回路电源，系统完成自检，工作正常，闭合开关 Q1，飞轮储能单元处于静止状态；
- b) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置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下限；
- c) 飞轮储能单元保持在飞轮工作转速下限恒转速运行，持续时间 2 min 以上；
- d) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达 110% 额定功率充电指令，飞轮储能变流器控制飞轮储能单元从飞轮工作转速下限充电至飞轮工作转速上限，然后保持飞轮工作转速上限恒转速运行 2 min 以上；
- e) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达 110% 额定功率放电指令，飞轮储能变流器控制飞轮储能单元从飞轮工作转速上限放电至飞轮工作转速下限；
- f) 通过飞轮储能管理系统或其他指令发送装置向飞轮储能系统下达停机指令；
- g) 充放电过程中，利用数据采集装置，以 1 ms 为步长、20 ms 为滑窗周期，同步记录飞轮储能网侧变流器交流端口有功功率有效值、充电能量、放电能量；
- h) 检查飞轮储能系统、飞轮储能单元、飞轮储能变流器过载运行数据、报警和保护信息；
- i) 设备无异常、无故障，判定飞轮储能系统具备过载能力。

10.16 辅助系统

10.16.1 辅助电源

辅助系统中的供电电源检测按以下步骤进行：

- a) 将供电电源的输入端连接至电压可调电源；
- b) 调节可调电源输出电压为供电电源的额定电压；
- c) 启动飞轮储能系统，并设置工作在额定功率状态，持续运行 2 min，检查飞轮储能系统的运行状态；
- d) 分别调节可调电源输出电压为供电电源额定电压的 0.8 倍、1.15 倍，分别持续运行 2 min，检查飞轮储能系统的运行状态；
- e) 调节可调电源输出电压为供电电源的额定电压，进行额定功率的充放电试验，充放电状态下分别持续运行 2 min，检查飞轮储能系统的运行状态。

10.16.2 安全保护接地

目测内部等电位接地和外部保护接地是否完善、连接可靠。

附录 A
(资料性)

电力储能用飞轮储能系统典型架构

电力储能用飞轮储能系统典型架构如图 A.1 所示：

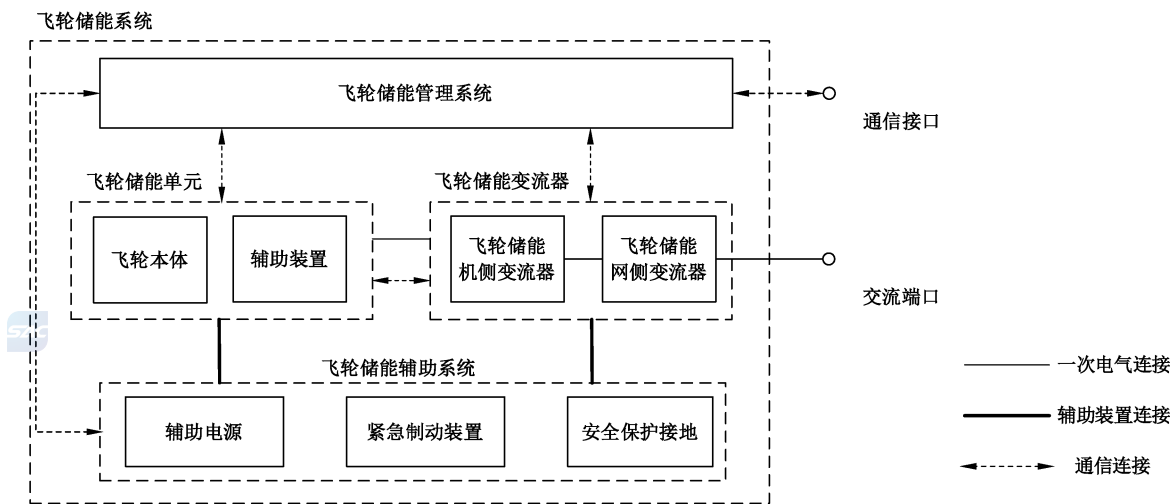


图 A.1 电力储能用飞轮储能系统典型架构

附 录 B
(资料性)

飞轮储能管理系统与各层级设备通信拓扑

飞轮储能管理系统与各层级设备通信拓扑如图 B.1 所示：

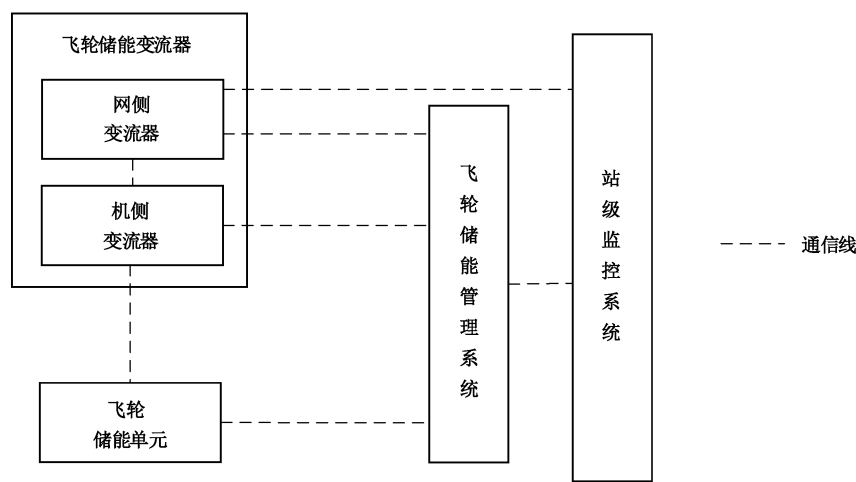


图 B.1 飞轮储能管理系统与各层级设备通信拓扑示意图



