

中华人民共和国黑色冶金行业标准

YB/T XXXXX—2023

钢铁行业冲击负荷飞轮节能技术规范

Technical specification for impact load flywheel energy-saving in steel industry

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前 言.....	II
引言.....	错误!未定义书签。
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 原理与工艺.....	2
4.1 方法原理.....	错误!未定义书签。
4.2 工艺设备.....	错误!未定义书签。
5 技术要求.....	2
5.1 一般要求.....	3
5.2 设计、安装及运行要求.....	3
5.3 技术指标要求.....	错误!未定义书签。
5.4 安全要求.....	错误!未定义书签。
5.5 环保要求.....	错误!未定义书签。
6 控制要求与检测.....	错误!未定义书签。
7 测算与验收.....	错误!未定义书签。
8 运行与维护.....	错误!未定义书签。

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。

本文件由工业和信息化部钢铁行业节能标准化工作组提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

钢铁行业冲击负荷飞轮节能技术规范

1 范围

本文件规定了钢铁行业冲击负荷飞轮节能的术语和定义、原理与应用、系统要求、测试方法、运行与维护。

本文件适用于钢铁行业电炉冶炼、轧钢等产生冲击负荷的生产环节使用的飞轮节能技术。

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 755-2008 旋转电机 定额和性能
- GB/T 3859.1-2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第1-1部分：基本要求规范
- GB/T 6075.1-2012 机械振动 在非旋转部件上测量评价机器的振动 第一部分：总则
- GB/T 7251.1-2013 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则
- 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 公共电网谐波
- GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡
- GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3-2016 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4-2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5-2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.6-2017 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 17626.8-2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB 17799.4 电磁兼容 通用标准 工业环境中的发射
- GB/T 19826-2014 电力工程直流电源设备通用技术条件及安全要求
- GB/T 20113 电气绝缘结构（EIS）热分级
- GB/T 24337 电能质量 公共电网间谐波
- GB/T 32218 真空技术 真空系统漏率测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

飞轮储能系统 flywheel energy storage system

一种实现电能与动能双向转化的储能装置，通过电动/发电互逆式双向电机实现电能与高速运转飞轮的机械动能之间的相互转换和储存。

3.2

飞轮转子 flywheel rotor

飞轮储能单元内部核心储能元件，是由高强度金属或复合纤维材料、树脂基体、磁性材料等组成的旋转体。

3.3

热备状态 hot standby state

飞轮电动发电机转速处于工作转速区间，飞轮储能变流器随时可接受系统控制器指令进行充放电操作的状态。

3.4

充放电循环效率 charge-discharge cycle efficiency

在规定的试验条件和试验方法下，飞轮储能系统放电能量与充电能量的比值。

3.5

充（放）电响应时间 charge (discharge) response time

飞轮储能系统在正常充/放电工作模式时，在热备状态下从零功率上升至90%额定功率所用的时间。

3.6

飞轮自放电率 self-discharge rate of flywheel energy storage

飞轮储能系统的储能变流器、飞轮电机变流器处于停机状态，飞轮电动发电机组由最高工作转速自由降速至最低工作转速过程中的平均损耗功率与额定功率的比值。

4 原理与应用

4.1 飞轮储能系统原理

钢铁企业飞轮储能系统应用原理如图1所示。充电时，处于电动机工作模式，电机驱动飞轮转子高速旋转，将电能转换为动能，用以储存能量；放电时，处于发电机工作模式，转速下降，将动能转化为电能，向负载释放电能。

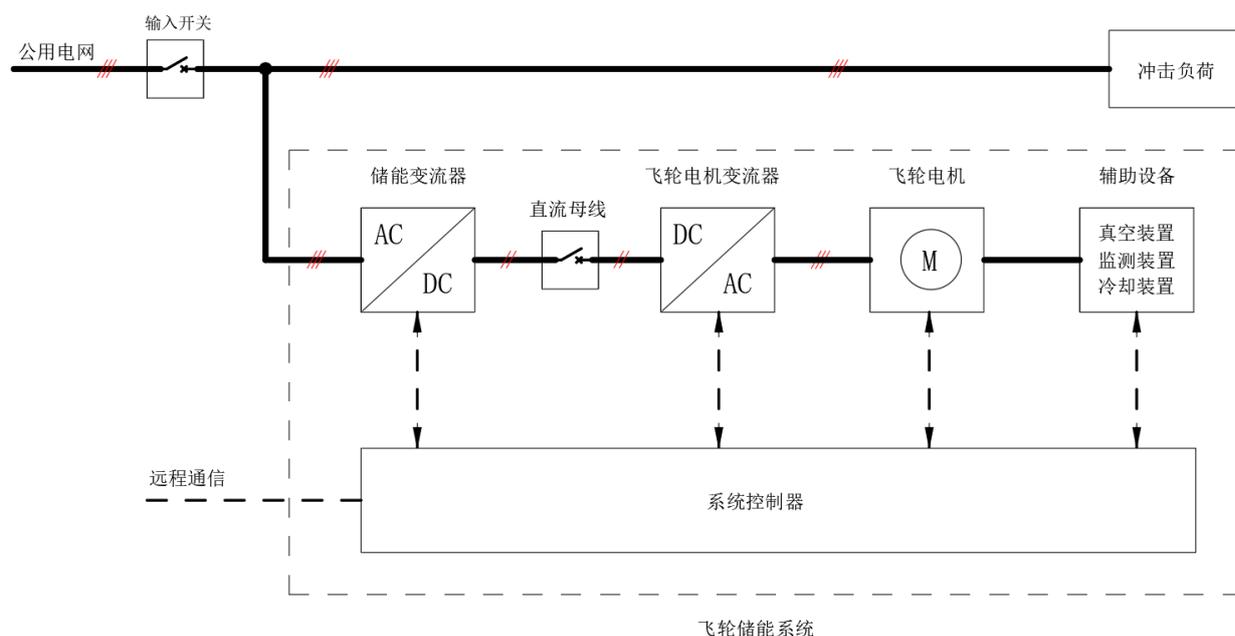


图1 飞轮储能系统应用原理图

4.2 飞轮储能系统应用

在钢厂设备的供电系统中接入飞轮储能系统，正常供电时，飞轮在工作区间处于浮充状态，当厂内设备启动或往复工作过程中，供电系统产生冲击负荷，导致短时频率越限、电压波动等电能质量问题，此时飞轮瞬时投切，转换至充（放）电模式，对供电系统进行调节和补偿。飞轮储能的精细调节将系统的频率控制在允许范围内，且飞轮储能补偿一部分无功功率抑制电压波动，减小电压偏差影响其他设备，提高电能质量和使用效率，起到节能作用。同时，飞轮储能系统提供的功率补偿，有效降低用户侧用电容量配置。

5 系统要求

5.1 一般要求

5.1.1 使用环境条件

- 5.1.1.1 海拔高度：≤1000m，超过降额使用。
- 5.1.1.2 运行环境温度：-15℃~40℃。
- 5.1.1.3 日平均相对湿度：0%~95%，无凝露。

5.1.2 电源品质要求

5.1.2.1 谐波电压

飞轮储能系统接入公共连接点的谐波电压应满足GB/T 14549的要求，间谐波电压应满足GB/T 24337的要求。

5.1.2.2 电压偏差

电压偏差应满足GB/T 12325的要求，电压波动和闪变值应满足GB/T 12326的要求。

5.1.2.3 电压不平衡度

电压不平衡度应满足GB/T 15543的要求。

5.2 技术要求

5.2.1 系统性能

5.2.1.1 额定输入/输出功率

飞轮储能系统在充/放电状态下可以持续稳定工作的最大输入/输出功率，按飞轮设计值标定，通过测试验证并纠偏。

5.2.1.2 可用储能量

飞轮储能系统在最高工作转速下以额定功率开始放电，直到转速达到最低工作转速，此过程中系统释放的动能，即为飞轮可用储能量。按飞轮设计值标定，通过测试验证并纠偏。

5.2.1.3 充放电循环效率

飞轮储能系统充放电循环效率应不低于80%。

5.2.1.4 充放电响应时间

飞轮储能系统充放电响应时间应不大于20ms。

5.2.1.5 飞轮自放电率

飞轮自放电率应不超过额定输出功率的5%。

5.2.2 电气性能

5.2.2.1 绝缘电阻

飞轮储能系统绝缘电阻应符合以下规定：

- a) 各独立电路与地（即金属框架或安装底座）之间的绝缘电阻不小于 10 M Ω ；
- b) 无电气联系的各电路之间的绝缘电阻不小于 10 M Ω 。

5.2.2.2 工频电压

飞轮储能系统各带电回路，按其工作电压应能承受表1规定历时1min的工频耐压的试验，试验过程中应无绝缘击穿和闪络现象。

表1 工频耐受电压等级

额定绝缘电压 U_i (V)	工频电压 (V)
$U_i \leq 60$	1000
$60 < U_i \leq 300$	2000

$300 < U_i \leq 690$	2500
$690 < U_i \leq 800$	3000
$800 < U_i \leq 1000$	3500
$1000 < U_i \leq 1500$	3500

5.2.2.3 电气间隙和爬电距离

飞轮储能系统电气设备的电气间隙和爬电距离符合GB/T 7251.1-2013中8.3的规定。

5.2.3 电磁兼容性

5.2.3.1 静电放电抗扰度

飞轮储能系统应能承受GB/T 17626.2-2018第5章的试验等级为3、4级的静电放电抗扰度试验。

5.2.3.2 射频电磁场辐射抗扰度

飞轮储能系统应能承受GB/T 17626.3-2016第5章规定的试验等级为3、4级的射频电磁场辐射抗扰度试验。

5.2.3.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度

飞轮储能系统应能承受GB/T 17626.4-2018第5章规定的试验等级为3、4级的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验。

5.2.3.4 浪涌（冲击）抗扰度

飞轮储能系统应能承受GB/T 17626.5-2019第5章规定的试验等级为3、4级的浪涌（冲击）抗扰度试验。

5.2.3.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度

飞轮储能系统应能承受GB/T 17626.6-2017第5章规定的试验等级为3、4级的射频场感应的传导骚扰抗扰度试验。

5.2.3.6 工频磁场抗扰度

飞轮储能系统应能承受GB/T 17626.8-2006第5章规定的试验等级为3、4级的工频磁场抗扰度试验。

5.2.3.7 电磁发射

正常工作的飞轮储能系统的电磁发射应不超过GB 17799.4规定的发射限值。

5.3 运行环境

5.3.1 振动

飞轮储能系统运行过程中，振动评价应满足GB/T 6075.1-2012规定区域B的使用条件及评价区域的振动限值要求。

5.3.2 噪声

正常充放电运行时，飞轮储能系统的噪音值不大于65db（A）。

5.3.3 温升

5.3.3.1 飞轮储能系统的温升需满足GB/T 3859.1-2013中表19变流器各部分的温升限值要求。

5.3.3.2 飞轮电机依据设计采用GB/T 20113电气绝缘结构规定的热分级，符合GB/T755-2008中8.10要求的温度和温升限值

5.3.4 密封性

静浮状态下，飞轮腔体内部真空度应不小于10Pa，保持在此真空下的漏率应不大于 1×10^{-6} Pa·m³/s。

5.4 安全保护功能

5.4.1 机械危险防护

飞轮储能系统应具备机械危险防护措施，即使转子失稳也不能对外界产生破坏性影响。具体措施不局限于使用备用轴承、防护性外壳、紧急停机措施、故障放电措施。

5.4.2 绝缘保护

飞轮储能系统应具备绝缘保护措施，具体措施不局限于增加金属防护门、增加绝缘防护套管。

5.4.3 安全停机

当外部控制电源失电，飞轮储能系统能够不对外工作并依靠自身储能能量安全旋转至零速。

5.4.4 接地

飞轮储能系统中带电部件的接地点接地电阻应小于0.4Ω。其中带电部件不局限于飞轮电机外壳、变流器、触摸屏、可接触外门或壳体。

5.4.5 电压保护

飞轮储能系统输出电压超过设定过/欠电压值时，应发出报警信号，并自动关断输出。

5.4.6 过流保护

飞轮储能系统输出电流超过设定过电流值时，应发出报警信号，并自动关断输出。

5.4.7 超速保护

飞轮充电加速过程，当飞轮转速超过最高工作转速时，发出报警信号；当飞轮转速超过最高极限转速时，超速保护动作，停止充电操作。

5.4.8 过温保护

飞轮储能系统应能实时监测飞轮主要部位的温度，当温度达到报警值时，应能发出报警信号，超过设计阈值，应自动降速停机。

5.4.9 真空度报警保护

飞轮储能系统应能实时监测飞轮运行腔体内的真空度,当真空度达到报警值时,应能发出报警信号,超过设计阈值,应自动降速停机。

5.4.10 冷却系统报警保护

飞轮储能系统应能实时监测冷却系统运行状态,当冷却系统整体或部分停止时,应能发出报警信号,并自动降速停机。

5.5 监控功能

5.5.1 监测功能

在飞轮储能系统运行时,监控装置应具备以下监测功能:

- a) 参数: 直流输入电压; 母线电压、电流; 飞轮的转速、储电量; 飞轮输入电压、电流和频率; 飞轮输出电压、电流和频率等。
- b) 环境: 飞轮重要部位温度(轴承、电机等)、飞轮密封腔内真空度、功率单元温度。
- c) 状态: 飞轮电机工作状态、飞轮电机变流器工作状态、储能变流器工作状态
- d) 信息: 告警和故障信息、累计充、放电量、累计充、放电次数等

5.5.2 系统控制功能

- a) 监控装置应能控制飞轮储能系统启动、停机、故障复位;
- b) 监控装置应能按设定的条件自动完成对飞轮储能系统充放电控制;
- c) 监控装置应能对飞轮储能系统的运行方式进行设定,并可进行自动与手动控制。

6 测试方法

6.1 测试条件

飞轮储能系统在使用环境要求的条件下开展测试。

6.2 测试设备

测试仪器仪表应检验合格,并在有效期内;准确度等级满足测试内容所要求的精度;要保证检测范围在预期范围内的有效性。

6.3 系统性能测试

6.3.1 额定输入/输出功率

飞轮储能系统处于热备状态进行测试:

- a) 飞轮储能系统从最低工作转速以设定的最大持续功率充电至最高工作转速,用功率测试仪测定的最大稳定输入值。
- b) 飞轮储能系统从最高工作转速以设定的最大持续功率放电至最低工作转速,用功率测试仪测定的最大稳定输出值。
- c) 测试3~5次,取平均值,为飞轮储能系统充放电过程的额定输入功率 P_c 和额定输出功率 P_d 。

6.3.2 可用储能量

飞轮储能系统运行在热备状态,以额定功率从最高工作转速放电至最低工作转速。测量飞轮储能系

统对外接口处的电压和电流，测得此放电过程的放电能量，测试 3~5 次，取平均值，即为可用储能量 E_d 。

6.3.3 充放电循环效率测试

飞轮储能系统运行在热备状态，测量点为接入电网前端，测量系统对外接口处的有功功率和电能。

- a) 飞轮储能系统已额定功率充电至终止条件时停止，测量充电能量 E_{cn} ；
- b) 飞轮储能系统已额定功率放电至终止条件时停止，测量放电能量 E_{dn} ；

则能量转换效率为：

$$\eta = \frac{E_{cn}}{E_{dn}} \times 100\%$$

测试 3~5 次，取平均值。

6.3.4 充放电响应时间测试

6.3.4.1 充电响应时间

飞轮储能系统运行在热备状态，在额定功率充电条件下，执行充电动作。飞轮储能系统收到控制信号的时刻为 t_{a1} ，充电功率首次达到 90% 额定功率的时刻为 t_{a2} ，则充电响应时间为 $\Delta T_a = t_{a2} - t_{a1}$ ；测试 3~5 次，充电响应时间取测试结果的最大值。

6.3.4.2 放电响应时间

飞轮储能系统运行在热备状态，在额定功率放电条件下，执行放电动作。飞轮储能系统收到控制信号的时刻为 t_{b1} ，放电功率首次达到 90% 额定功率的时刻为 t_{b2} ，则放电响应时间为 $\Delta T_b = t_{b2} - t_{b1}$ ；测试 3~5 次，充电响应时间取测试结果的最大值。

6.3.5 充放电时间

飞轮储能系统运行在热备用状态，已额定功率充放电测试：

- a) 飞轮储能系统从最低工作转速充电至最高工作转速，对应的时刻分别为 t_{c1} 和 t_{c2} ；
 - b) 飞轮储能系统从最高工作转速放电至最低工作转速，对应的时刻分别为 t_{d1} 和 t_{d2} ；
- 则充电时间为 $\Delta T_c = t_{c2} - t_{c1}$ ；放电时间为 $\Delta T_d = t_{d2} - t_{d1}$ 。测试 3~5 次，取测试结果的最大值。

6.3.6 飞轮自放电率

飞轮储能系统充电至最高工作转速，系统切换为停机状态，飞轮从最高工作转速自由降速至最低工作转速所用时间为 T ，则系统自放电率为

$$A = \frac{E_d}{TP_d} \times 100\%$$

式中：A—飞轮储能系统自放电率；

E_d —飞轮储能系统的可用储能量，单位为 kWh；

T —飞轮储能系统从最高工作转速自由降速至最低工作转速的时间，单位为 h；

P_d —飞轮储能系统放电过程的额定输出功率，单位为 kW。

6.4 电气性能测试

6.4.1 绝缘电阻

在电源输入端子与保护接地导线间施加 DC 2500V 电压，稳定后测量绝缘电阻值。如果绝缘电阻测量时读数不稳定，则在施加电压后 $60s \pm 5s$ 读取绝缘电阻的最小值。绝缘电阻测试结果应符合飞轮储能系统通用技术条件中 5.2.2.1 的规定。

6.4.2 工频耐压

飞轮储能系统的工频耐压采用专门的工频耐压试验装置进行测试。按表1规定的试验电压，施加试验电压1 min应无闪络和击穿。

6.4.3 电气间隙和爬电距离

飞轮储能系统的电气间隙和爬电距离按照GB/T 7251.1-2013附录F的方法执行。

6.5 电磁兼容性试验

6.5.1 静电放电抗扰度试验

飞轮储能系统的静电放电抗扰按照GB/T 17626.2的规定执行。

6.5.2 射频电磁场辐射抗扰度试验

飞轮储能系统的射频电磁场辐射抗扰度按照GB/T 17626.3的规定执行。

6.5.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

飞轮储能系统的电快速瞬变脉冲群抗扰度按照GB/T 17626.4的规定执行。

6.5.4 浪涌（冲击）抗扰度试验

飞轮储能系统的浪涌（冲击）抗扰度按照GB/T 17626.5的规定执行。

6.5.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验

飞轮储能系统的射频场感应的传导骚扰抗扰度按照GB/T 17626.6的规定执行。

6.5.6 工频磁场抗扰度试验

飞轮储能系统的工频磁场抗扰度按照GB/T 17626.8的规定执行。

6.5.7 发射要求

飞轮储能系统的发射要求按照GB 17799.4的规定执行。

6.6 运行环境测试

6.6.1 振动评估

a) 在飞轮电动发电机组的壳体上布置接触式振动传感器，径向振动传感器与轴承处于同一径向平面，轴向振动传感器位于轴线延伸处，用于测量系统壳体横向和纵向振动量。

b) 在热备状态下，将飞轮储能系统以额定功率从最低工作转速充电至最高工作转速，然后以额定功率放电至最低工作转速，测量系统运行过程中壳体最大横向和纵向振动量、轴径向最大相对位移量为系统振动量。

6.6.2 噪声测试

- a) 测试环境要求背景噪声小于测得噪声值3dB以上；
- b) 飞轮储能系统处于热备状态，以额定功率从最低工作转速充电至最高工作转速，然后以额定功率放电至最低工作转速；
- c) 在距飞轮储能系统前、后、左、右水平位置各1m处，离地面高度（1~1.5）m处，用声级计测量系统噪声；
- d) 记录整个测试过程中声级计显示的最高A计权声压级为噪声值。

6.6.3 温升测试

飞轮储能系统运行在热备状态，在6.3.1额定输入/输出功率试验过程中，飞轮储能系统运行至各检测点均达到热平衡（温升变化 $<1\text{K/h}$ ），测量各监测点的温度和环境温度。

6.6.4 密封测试

密封测试按 GB 32218 规定的方法进行。

6.7 安全保护测试

6.7.1 外部控制电源失电测试

将飞轮储能系统升速至额定工作最高转速，通过外部开关断开外部输入的飞轮储能系统控制供电电源，飞轮转子能够不对外工作并依靠自身储能能量安全旋转至零速，再次合闸外部控制供电电源，飞轮能够人工或自动解除告警，并恢复至可工作状态。

6.7.2 接地测试

分别将飞轮储能系统中存在带电可能的部件进行导电连接，并对接地点接地电阻进行测试，接地电阻均应小于 0.4Ω 。其中带电部件不局限于飞轮电机外壳、变流器、触摸屏、可接触外门或壳体。

6.7.3 电压保护测试

飞轮储能系统运行在热备状态，采用降低/提高电压保护值的方法分别进行系统直流侧和交流侧电压保护测试：

- a) 调节飞轮储能系统电压过/欠压保护值至低于/高于当前电压，飞轮储能系统应故障保护动作；
- b) 恢复飞轮储能系统电压过/欠压保护值至正常值，启动飞轮储能系统，能够正常运行。

6.7.4 过流保护测试

飞轮储能系统运行在充、放电状态，采用降低过流保护值的方法分别进行系统直流侧和交流侧过流保护测试：

- a) 调节飞轮储能系统的电流过流保护值至低于当前工作电流，飞轮储能系统应故障保护动作；
- b) 恢复飞轮储能系统的电流过流保护值至正常值，启动飞轮储能系统，能够正常运行。

6.7.5 超速保护测试

飞轮储能系统运行在最高工作转速，检测飞轮转速，采用降低速度保护值的方法验证：

- a) 调节飞轮转速保护值至低于飞轮当前转速，飞轮储能系统应故障保护动作；
- b) 恢复飞轮转速保护值至正常值，启动飞轮储能系统，能够正常运行。

6.7.6 过温保护测试

飞轮储能系统运行充放电状态，采用降低过温保护限值的方法验证：

- a) 调节飞轮储能系统过温保护限值至低于受保护部件的温度，飞轮储能系统应警告或故障保护动作；
- b) 恢复飞轮储能系统过温保护限值至正常值，启动飞轮储能系统，能够正常运行。

6.7.7 真空度保护测试

采用降低真空度保护限值的方法验证：

- a) 调节飞轮储能系统真空度保护限值至低于当前运行真空值，飞轮储能系统应警告或故障保护动作；
- b) 恢复飞轮储能系统真空度保护限值至正常值，启动飞轮储能系统，能够正常运行。

6.7.8 冷却系统保护测试

停止整体或部分冷却系统工作，飞轮储能系统应警告或故障保护动作。恢复冷却系统正常工作，启动飞轮储能系统，能够正常运行。

6.8 监控功能测试

6.8.1 监测功能测试

飞轮储能系统按热备状态、充放电状态分别运行，目击监控装置是否符合5.5.1规定的监测功能。

6.8.2 控制功能测试

利用监控系统对飞轮储能系统进行启动/停机、运行方式设置、功率控制功能的操作，对系统内部开关、接触器、电机等执行机构进行控制操作，判断飞轮储能系统的监控装置是否具备5.5.2规定的控制功能。

7 运行与维护

7.1 运行

7.1.1 运行控制

飞轮储能系统运行控制主要包括飞轮储能系统运行状态的参数设定、运行操作、监视、数据采集。

7.1.2 运行状态

飞轮储能系统运行状态分为启机状态、预充电状态、充放电状态、停机状态、热备状态、退出备用状态等。

7.1.3 运行操作

飞轮储能系统可通过远程控制和就地控制实现启停、悬浮、充放电指令、控制模式切换，异常情况下的紧急停机操作。

7.2 维护

7.2.1 一般规定

- a) 维护人员应结合飞轮储能系统设备操作保养手册、运行方式等按维护周期制定维护计划。

- b) 飞轮储能系统设备维护包括飞轮储能单元、飞轮电机变流器、储能变流器、辅助设备等的检查、清扫、消缺、配件更换、参数调整、油液加注与更换等。
- c) 飞轮储能设备维护应做好与其它相关运行设备的安全防护措施，防止误操作。
- d) 维护人员应注意电击、腐蚀、滑倒、跌落等危害。

7.2.2 系统检查与维护

- a) 定期检查输入、输出电缆接线端子一次，仔细查看接触是否良好。
- b) 定期检查排热风扇的工作状态，防止被杂物堵住出风口。如有损坏，应进行更换。
- c) 定期检查飞轮组的电压，确保飞轮电压正常。
- d) 定期检查系统的工作状态，确保及时发现故障。

7.2.3 飞轮储能单元维护注意事项

- a) 在正常运行状态下，每年检查一次飞轮支撑和保护系统中的轴承。
 - b) 真空泵油可以在线更换，操作工程师需经过培训后方可操作。
-