

GH103 飞轮储能实验系统 高校实验方案目录与指导书

【文档版本】 V2.0

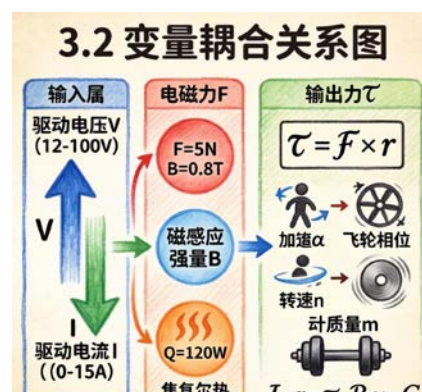
【发布日期】 2026年5月

【适用设备】 GH103飞轮储能实验系统（标配/标准/扩展配置）

【文档性质】 教学配套资源 | 免费下载

【更新记录】

- V1.0 (2025.03) 初始版本，5个基础实验
- V2.0 (2026.05) 新增至10个实验，增加跨学科设计、数字孪生



一、资料简介

1.1 文档定位

本文档为GH103飞轮储能实验系统的配套教学资源,由智感科技联合多所高校能源与动力工程、电气工程、物理学等学科专家共同开发,旨在为高等院校、科研院所、职业院校提供系统化、模块化、可扩展的实验教学解决方案。

1.2 核心特色

特色	说明
十维可调变量体系	覆盖机械、电气、控制、智能全维度,支撑从验证到创新的全链条培养
跨学科深度融合	单一设备服务6大学科、10余个专业方向,助力"新工科"建设
层次化教学设计	本科验证性→研究生综合性→科研创新性,三层递进
真实工程场景	边缘驱动、宽电压、大功率,真实模拟工业级储能系统
数字化资源配套	虚拟仿真、数据处理代码、AI算法库,支撑线上线下混合教学

1.3 适用对象

高等院校	科研院所	职业院校
能源与动力工程	飞轮储能机理研究	新能源技术实训
电气工程自动化	电机驱动控制	储能系统装调
新能源科学与工程	智能控制算法	1+X证书培训
物理学(力学)	数字孪生技术	技能竞赛备赛
控制科学与工程	多物理场耦合	
大数据分析/AI		

二、GH103设备技术速查

2.1 核心技术参数

类别	参数	数值	教学价值
驱动架构	W→A边缘驱动	力矩提升4-8倍	对比轴心/边缘驱动，理解力臂优化
电磁系统	8极对称力偶	16个电磁铁，45°间隔	学习开关磁阻电机原理
宽电压范围	DC 12-100V	无级可调	研究宽范围电力电子变换
宽频率范围	10-400Hz	对应1.25-3000RPM	分析步进驱动与转速控制
十维变量	全参数可调	见第3章	支撑多变量耦合研究
安全防护	GH19C五重保护	过速/过流/过热/振动/位移	培养安全工程意识

2.2 配置等级与实验覆盖

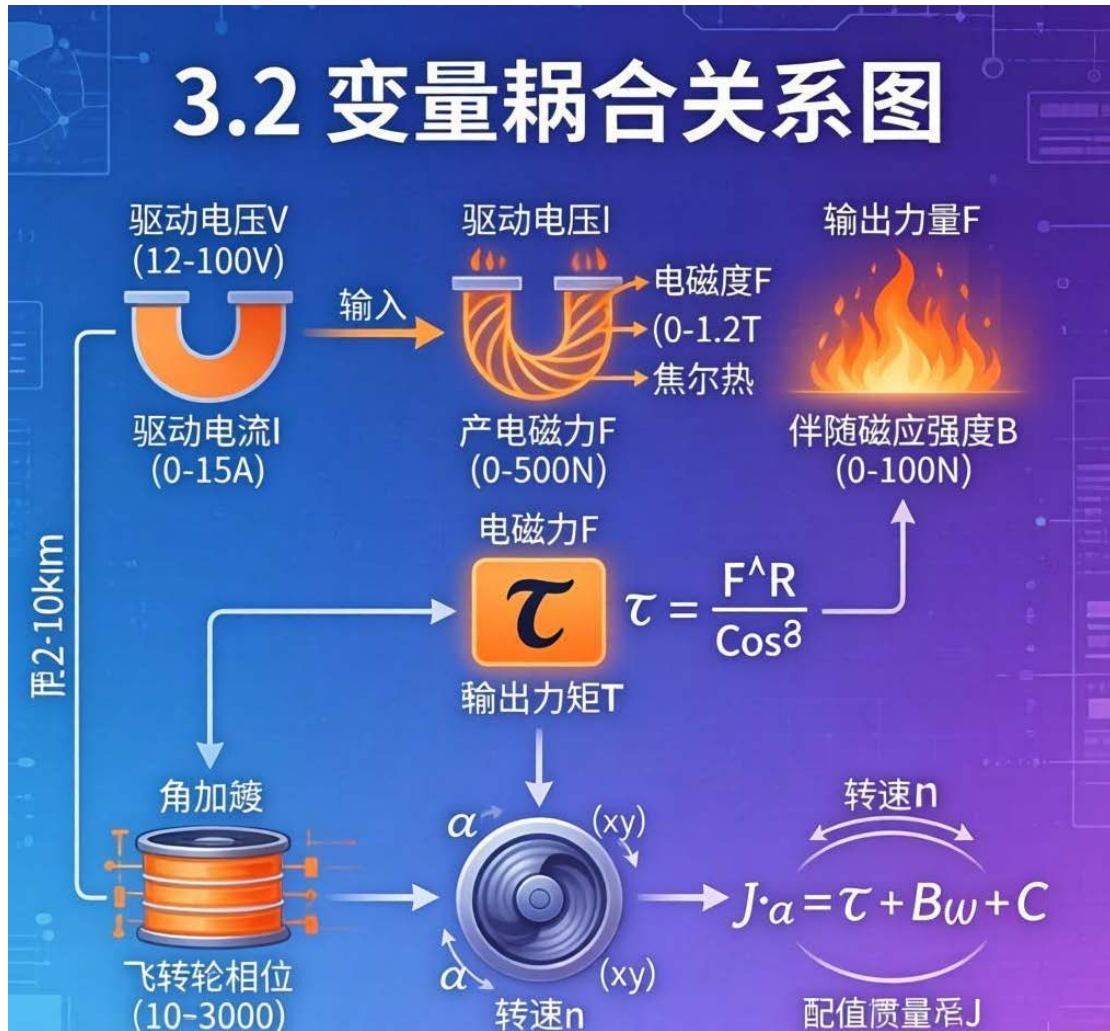
配置	包含模块	可完成实验	适用层次
标配	主机+配重+示波器+测量仪	实验1-6（基础版）	本科教学
标准	标配+数据采集系统	实验1-8（完整版）	研究生教学
扩展	标准+真空+温控+AI工作站	实验1-10（科研版）	科研创新

三、十维实验变量总览

3.1 变量定义与调节范围

序号	变量名称	符号	调节范围	物理意义	关联学科
1	配重质量	m	2-10 kg	转动惯量 J 调节	力学、能源工程
2	电磁力	F	0-500 N	驱动力矩 $T=F \cdot R$	电磁学、电气工程
3	驱动电压	V	12-100 V	控制励磁电流	电力电子、电气工程
4	驱动电流	I	0-15 A	电磁力激励源	电路分析、电气工程
5	脉冲频率	f	10-400 Hz	转速设定	电机控制、电气工程
6	正脉宽	t ⁺	1-20 ms	能量注入时长	PWM技术、电气工程
7	角加速度	α	实测值	动态响应输出	动力学、控制科学
8	磁场位移偏角	θ	$\pm 7-13.5^\circ$	最优作用角度	电磁学、优化理论
9	磁感应强度	B	0-1.2 T	与电流成正比	电磁学、材料科学
10	飞轮相位	(x,y)	$[0,2\pi]^2$	状态空间变量	控制科学、数学

3.2 变量耦合关系图



四、实验方案目录 (10项)

4.1 按学科分类索引

学科领域	实验编号	实验名称	层次
物理学	PHY-001	飞轮系统转动惯量精密测定与建模	本科/研究生
	PHY-002	磁场位移偏角优化与电磁-机械耦合	研究生/科研

学科领域	实验编号	实验名称	层次
能源与动力工程	EPE-001	飞轮储能系统充放电循环与能量效率	本科/研究生
	EPE-002	多物理场耦合热特性与热管理优化	研究生/科研
电气工程	EEA-001	边缘驱动电磁力矩特性与气隙优化	本科/研究生
	EEA-002	宽电压范围电力电子变换与效率优化	本科/研究生
	EEA-003	脉冲频率-转速动态响应与步进精度	本科/研究生
新能源科学	NES-001	飞轮-电池混合储能系统能量管理	研究生/科研
控制科学	CSC-001	飞轮系统状态空间建模与参数辨识	研究生/科研
大数据分析/AI	BDA-001	飞轮储能系统大数据驱动智能优化	研究生/科研
跨学科综合	IDS-001	边缘驱动飞轮数字孪生与虚实同步	科研/创新

4.2 实验项目详细清单

【实验1】飞轮系统转动惯量精密测定与建模

项目	内容
编号	PHY-001 / EPE-001
名称	飞轮系统转动惯量精密测定与建模
核心变量	配重质量 m (2-10 kg)、角加速度 α (实测值)
物理原理	转动定律 $\tau = J\alpha$ 、平行轴定理、刚体动力学
实验目的	①验证转动定律；②建立高精度惯量模型；③探究离心变形非线性效应

项目	内容
关键测量	转速-时间响应曲线、角加速度、配重几何参数
数据处理	最小二乘拟合、误差分析、模型修正 (研究生: 考虑柔度/温度/离心)
拓展研究	高速离心变形补偿、温度-惯量耦合、在线辨识算法
学时	本科4学时 / 研究生8学时
配套设备	GH103标配+高精度转速传感器 (研究生+激光位移传感器)

【实验2】边缘驱动电磁力矩特性与气隙优化

项目	内容
编号	EEA-001 / PHY-002
名称	边缘驱动电磁力矩特性与气隙优化
核心变量	电磁力 F (0-500 N)、磁感应强度 B (0-1.2 T)、磁场位移偏角 θ ($\pm 7-13.5^\circ$)
物理原理	电磁吸力定律、麦克斯韦应力张量、磁路分析、边缘效应
实验目的	①测定最优偏角使切向力最大化; ②建立 $F-\theta-k$ 三维映射; ③揭示边缘驱动力矩放大机理
关键测量	电磁吸力vs偏角曲线、力矩-效率特性、磁场分布扫描
数据处理	三维曲面拟合、优化算法、有限元对比验证
拓展研究	动态偏角自适应控制、磁饱和非线性建模、永磁辅助电磁驱动

项目	内容
学时	本科4学时 / 研究生8学时
配套设备	GH103标配+高斯计+扭矩传感器 (研究生+三维磁场扫描系统)

【实验3】宽电压范围电力电子变换与效率优化

项目	内容
编号	EEA-002
名称	宽电压范围电力电子变换与效率优化
核心变量	驱动电压 V (12-100 V) 、驱动电流 I (0-15 A) 、正脉宽 t ⁺ (1-20 ms)
物理原理	DC-DC变换、PWM调制、软开关、宽禁带器件、效率MAP
实验目的	①分析宽电压效率特性; ②优化PWM参数使效率最大化; ③研究SiC/GaN应用潜力
关键测量	V-I-P效率云图、开关波形、谐波分析、温升
数据处理	效率MAP图、损耗归因、最优工作点追踪算法
拓展研究	多电平变换器、无线电能传输、双向充放电控制
学时	本科4学时 / 研究生8学时
配套设备	GH103标配+宽范围可调电源+功率分析仪

【实验4】脉冲频率-转速动态响应与步进精度

项目	内容
编号	EEA-003

项目	内容
名称	脉冲频率-转速动态响应与步进精度
核心变量	脉冲频率 f (10-400 Hz) 、飞轮相位 (x,y) ($[0,2\pi]^2$)
物理原理	开关磁阻电机、步进驱动、矢量控制、伺服精度、稳定性分析
实验目的	①验证 f - n 线性关系并标定失步边界；②分析步进角精度与振动；③设计最优升频策略
关键测量	转速响应、步进角误差、振动频谱、电流波形
数据处理	传递函数辨识、Bode图、稳定性裕度
拓展研究	无位置传感器控制、直接转矩控制、弱磁扩速
学时	本科4学时 / 研究生6学时
配套设备	GH103标配+高分辨率编码器+加速度传感器+频谱分析仪

【实验5】飞轮储能系统充放电循环与能量效率

项目	内容
编号	EPE-001 / NES-001
名称	飞轮储能系统充放电循环与能量效率
核心变量	配重质量 m 、驱动电压 V 、驱动电流 I 、角加速度 α
物理原理	能量守恒、机电能量转换、储能效率、循环寿命、损耗分解
实验目的	①测定充放电效率及影响因素；②建立能量流模型；③优化充放电策略
关键测量	输入电能 $\int V \cdot I \cdot dt$ 、输出动能 $\frac{1}{2} J \omega^2$ 、各环节损耗

项目	内容
数据处理	能效计算、损耗归因分析、Pareto多目标优化
拓展研究	混合储能架构、梯次利用策略、经济性评估
学时	本科4学时 / 研究生8学时
配套设备	GH103标配+功率分析仪 (研究生+真空腔体+温度监测)

【实验6】磁场位移偏角优化与电磁-机械耦合

项目	内容
编号	PHY-002 / EEA-001 (进阶版)
名称	磁场位移偏角优化与电磁-机械耦合
核心变量	磁场位移偏角 θ ($\pm 7-13.5^\circ$)、电磁力 F 、磁感应强度 B
物理原理	电磁场理论、麦克斯韦方程组、电磁-机械能量转换、优化理论
实验目的	①系统研究偏角对切向/法向力比例的影响；②建立电磁-机械耦合模型；③验证边缘驱动的力矩放大机理
关键测量	三维力矩特性、磁场分布、气隙磁导、振动响应
数据处理	多目标优化、有限元验证、实验标定
拓展研究	动态偏角自适应、磁悬浮飞轮、超导磁储能
学时	研究生8学时 / 科研开放
配套设备	GH103扩展配置+动态扭矩传感器+三维磁场扫描+有限元软件

【实验7】飞轮系统状态空间建模与参数辨识

项目	内容
编号	CSC-001
名称	飞轮系统状态空间建模与参数辨识
核心变量	飞轮相位 (x,y) ($[0,2\pi]^2$)、角加速度 α 、脉冲频率 f
物理原理	状态空间理论、系统辨识、卡尔曼滤波、模型预测控制
实验目的	①建立非线性状态空间模型；②在线辨识惯量/摩擦/阻尼参数；③设计状态观测器
关键测量	全状态变量、输入输出数据、噪声统计特性
数据处理	最小二乘/极大似然/贝叶斯辨识、收敛性分析、CRLB下界
拓展研究	自适应控制、鲁棒控制、数字孪生控制、联邦学习
学时	研究生8学时 / 科研开放
配套设备	GH103标准配置+数据采集系统+实时控制器 (dSPACE/NI PXI)

【实验8】多物理场耦合热特性与热管理优化

项目	内容
编号	EPE-002
名称	多物理场耦合热特性与热管理优化
核心变量	驱动电流 I、磁感应强度 B、驱动电压 V
物理原理	焦耳热、涡流损耗、热传导、对流散热、电磁-热耦合

项目	内容
实验目的	①测定磁极温升特性与热阻网络；②建立电磁-热耦合模型；③优化热管理策略
关键测量	8路PT100温度、红外热像、电流谐波、冷却流量
数据处理	热网络建模、CFD仿真对比、优化设计（遗传算法/拓扑优化）
拓展研究	相变材料散热、液冷系统、热失控预警、寿命预测
学时	研究生8学时 / 科研开放
配套设备	GH103扩展配置（温度监测模块）+红外热像仪+CFD软件

【实验9】飞轮储能系统大数据驱动智能优化

项目	内容
编号	BDA-001
名称	飞轮储能系统大数据驱动智能优化
核心变量	十维全变量: $m, F, V, I, f, t^+, \alpha, \theta, B, (x,y)$
物理原理	机器学习、深度学习、强化学习、数字孪生、迁移学习
实验目的	①建立十维变量-性能指标的高维映射；②训练AI代理实现最优控制；③开发预测性维护系统
关键测量	全变量时序数据、多工况覆盖、标签数据
数据处理	特征工程、模型训练 (LSTM/Transformer/PPO)、超参优化、边缘部署
拓展研究	联邦学习、迁移学习、边缘智能、自主进化优化
学时	研究生8学时 / 科研开放

项目	内容
配套设备	GH103扩展配置+GPU工作站 (RTX 4090/A100) +云平台+AI框架

【实验10】边缘驱动飞轮数字孪生与虚实同步

项目	内容
编号	IDS-001
名称	边缘驱动飞轮数字孪生与虚实同步
核心变量	十维全变量 (物理实体) ↔ 十维全变量 (数字模型)
物理原理	多物理场建模、实时仿真、虚实同步、预测性维护、元宇宙
实验目的	①构建GH103高保真数字孪生模型；②实现毫秒级虚实同步；③开发远程运维与预测性维护平台
关键测量	实体全状态、模型预测状态、同步误差、预测精度
数据处理	模型降阶 (POD/Krylov)、实时求解、不确定性量化、寿命预测
拓展研究	元宇宙实验室、自主进化孪生、群体智能优化、数字资产
学时	科研开放 / 创新项目
配套设备	GH103全扩展配置+实时仿真机 (OPAL-RT) +VR/AR系统+云平台

五、实验指导书获取方式

5.1 资料分层下载

资料层级	内容	获取方式

资料层级	内容	获取方式
第一层：免费公开	实验方案目录（本文档）、十维变量介绍、设备彩页	直接下载，无需注册
第二层：注册下载	完整实验指导书（10项）、数据处理代码（MATLAB/Python）、虚拟仿真链接	填写邮箱+学校/单位，自动发送
第三层：申请获取	定制化实验方案、师资培训资料、联合实验室建设方案、科研项目申报模板	联系客户经理，一对一服务

六、配套支持服务

服务类型	内容	响应时间
安装调试	上门安装、系统联调、操作培训	合同签订后2周内
师资培训	GH103操作、实验开发、故障排查、论文指导	每年2期，每期1周
技术支持	7×24小时热线、远程诊断、现场服务	2小时响应，48小时到场
软件升级	控制算法、实验项目、数字孪生持续更新	终身免费
定制开发	根据特殊需求定制实验、开发专属方案	协商确定
科研合作	联合申报项目、共建实验室、成果转化、论文合作	长期合作

七、产学研合作方向

合作类型	内容	预期成果
实验教学合作	共同开发实验项目、编写教材、建设在线课程	出版教材、上线MOOC

合作类型	内容	预期成果
科研项目合作	联合申报国家自然科学基金、重点研发计划	论文、专利、项目结题
竞赛培训合作	联合承办/指导学生参加电子设计、挑战杯等竞赛	竞赛获奖、人才培养
标准制定合作	参与飞轮储能教学设备行业标准制定	标准发布、行业影响力
成果转化合作	联合开展技术转化、产业化应用	产值、社会经济效益

八、联系我们

杰华智感（深圳）科技有限公司

地址：深圳市龙华区观澜街道观光路1301号

电话：+86-755-28168358

传真：+86-755-28168293

网址：<http://www.szgeha.com>

邮箱：szgeha@163.com

GH103飞轮储能实验系统——让抽象的储能理论，化为直观的实验数据。
创新边缘驱动，开启储能教学新纪元。