

# 基于实践教学的立式飞轮储能装置设计应用

赵萌<sup>1</sup>, 杜平<sup>1</sup>, 赵天骄<sup>2</sup>, 高党寻<sup>1</sup>, 林蔚然<sup>1</sup>, 曾武<sup>1</sup>

(1.清华大学基础工业训练中心, 北京 100084 2.清华大学 物理系, 北京 100084)

**摘要:** 飞轮储能具有储能密度高、能量转换效率高、充放电速度快、环境适应力强、运行寿命长和易于检修维护的特点, 是一种非常有前景的新型绿色能源。本文从工程实践角度出发, 系统地设计了一款立式飞轮储能实践教学装置。基于目前已有的飞轮储能技术, 从飞轮储能原理、系统搭建及机械系统进行了完整地设计, 并完成了样机及实践产品的开发。同时, 通过优化工程实践模块, 将飞轮储能装置融入到了面向电机专业的定制版“金工实习”课程中。利用项目驱动式的新型教学模式, 培养了学生理论与实践结合的能力, 从而提高了学生的综合工程素养。

**关键词:** 飞轮; 机械储能; 实验装置, 实践教学

**中图分类号:** TH12; TB23 **文献标志码:** A

Design and application of vertical flywheel energy storage device for practical teaching

Zhao Meng<sup>1</sup>, Du Ping<sup>1</sup>, Zhao Tianjiao<sup>2</sup>, Gao Dangxun<sup>1</sup>, Lin Weiran<sup>1</sup>, Zeng Wu<sup>1</sup>.

(1. Fundamental Industry Training Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** flywheel energy storage has the characteristics of high energy storage density, high energy conversion efficiency, fast charging and discharging speed, strong environmental adaptability, long operation life and easy maintenance. It is a very promising new green energy. From the perspective of engineering practice, this paper systematically designs a practical teaching device of vertical flywheel energy storage. Based on the existing flywheel energy storage technology, the flywheel energy storage principle, system construction and mechanical system are completely designed, and the prototype and practical product development are completed. At the same time, by optimizing the engineering practice module, the flywheel energy storage device is integrated into the customized "Metalworking Practice" course for electrical engineering majors. Using the new project driven teaching mode, students' ability to combine theory with practice is cultivated, and students' comprehensive engineering literacy is improved.

**Key words:** flywheel; mechanical energy storage; experimental device; Practice Teaching

## 前言

2020年的联合国大会上, 习近平主席首次提出了碳达峰和碳中和的概念, 明确中国将努力争取在2060年前实现碳中和<sup>[1-3]</sup>。同时, 得益于我国人工智能、互联网+等技术的不断

进步，以风电和光伏为代表的新能源产业进入了一个新的发展阶段<sup>[4-5]</sup>。风电、光伏等新能源场站在我国电网占比和并网容量比例不断提高<sup>[6-8]</sup>，将有助于推动我国供给侧能源改革和建立多元化的能源供应体系，最终实现碳中和的远景目标。

为了使清洁能源发电也能够灵活进入并网运行，同时减少传统火电的调峰调频压力，使得风能和太阳能等清洁能源得到有效利用，从而进一步降低传统火电比例，从而达到节能减排，减轻污染的目的，发展飞轮这一储能密度高、能量转换效率高、充放电速度快、环境适应力强、运行寿命长和易于检修维护的高效节能和储能技术，将成为重中之重。

飞轮储能技术在许多领域都已经有了广泛的应用，特别是在美国、日本、德国等发达国家，储能技术已经发展得比较成熟，主要应用于 UPS 不间断电源，微电网调频，削峰填谷，制动动能回收，电磁弹射等多个领域<sup>[9-12]</sup>。

飞轮储能装置是一种机电能量转换的储能装置，通过电动/发电互逆式双向电机，电能与高速运转飞轮的机械动能之间的相互转换，实现电能的输入、储存和输出过程。其设计涉及多学科，装置设计过程复杂，就飞轮转子材料的选择，飞轮最佳转速的确定及工作空间的计算，轴承支撑的选择，轴承承载力、刚度与结构参数的计算，电机的选择，以及能量转换控制方式的分析等方面<sup>[13-14]</sup>。

传统的工程实践教学具有项目分离的特点，焊接、铸造、车工、铣工、检测、钳工等内容只是基于工种培养内容进行课程教学，其能力培养环节较为基础，无法满足高素质人才培养的需求。2017年，教育部开始部署新工科建设，对培养实用型、创新型、学科交叉型新工程人才提出了更高的要求，指出工程教育需要更深入地进行创新实践和多学科交叉融合发展，需要具备较强的实用性、交叉性与综合性<sup>[15]</sup>。

随着国家“双碳”目标的提出，加快建设低碳化国家、可持续发展国家，应对发展挑战，培养高素质的应用型工程技术人才迫在眉睫，以飞轮储能装置这一新型机械储能装置设计进行实践课程设计，利用理论教学同实践教学相结合的新型教学模式，可以培养学生形成理论与实践结合的综合能力，为各行业创新型人才的培养提供助力。

## 1 技术方案及设计

### 1.1 机械机构设计

以能源大类的学生为试点对象，通过项目驱动的教学方式，有机整合现有金工实习中的各个工种，完成飞轮储能系统的设计、加工制造和组装调试。通过与专业背景的紧密联系，提高学生的学习兴趣和主观能动性，同时建立产品全生命周期的概念，培养创新能力，提高综合素质。

针对未央书院能源大类的暑期金工实习，设计一款立式飞轮储能实验装置。具体要求如下：(1) 匹配中心现有的加工工艺；(2) 符合本科学生的加工水平；(3) 满足相关专业的教学要求。

最终的实验装置结构如**错误!未找到引用源。**所示，主要分为四部分，飞轮支撑模块，