



斜坡式重力储能系统机械-电气综合仿真的多工具协同建模策略

赵冬晗

(濮阳职业技术学院机电与汽车工程学院, 河南 濮阳 457000)

摘要: 在“双碳”目标驱动下, 斜坡式重力储能系统因可平衡可再生能源波动备受关注。但系统机械与电气子系统耦合复杂, 单一建模工具难以满足仿真需求。本文聚焦于斜坡式重力储能系统机械-电气综合仿真, 探讨多工具协同建模策略, 通过分析斜坡式重力储能系统的工作原理与特性, 阐述多工具协同建模的必要性, 详细介绍常用建模工具及其协同方式, 为斜坡式重力储能系统的研究与优化设计提供理论支持与方法参考, 以促进其在储能领域的发展与应用。

关键词: 机械-电气综合仿真; 多工具协同建模; 储能系统优化

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0204

中图分类号: TM 743

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 04-1343-03

Multi-tool collaborative modeling strategy for mechanical-electrical integrated simulation of sloped gravity energy storage system

ZHAO Donghan

(School of mechatronics and automotive engineering, Puyang Vocational and Technical College, Puyang 457000, Henan, China)

Abstract: Driven by the "dual-carbon" goals, sloped gravity energy storage systems have attracted significant attention due to their ability to balance fluctuations in renewable energy. However, the complex coupling between the mechanical and electrical subsystems of the system makes it difficult for a single modeling tool to meet the simulation requirements. This paper focuses on the mechanical-electrical integrated simulation of sloped gravity energy storage systems and discusses multi-tool collaborative modeling strategies. By analyzing the working principles and characteristics of sloped gravity energy storage systems, the necessity of multi-tool collaborative modeling is expounded. Commonly used modeling tools and their collaborative approaches are introduced in detail, providing theoretical support and methodological references for the research and optimal design of sloped gravity energy storage systems, so as to promote their development and application in the energy storage field.

Keywords: mechanical-electrical integrated simulation; multi-tool collaborative modeling; energy storage system optimization

收稿日期: 2026-03-11; 修改稿日期: 2026-04-08。

作者简介: 赵冬晗 (1972—), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为机械工程, E-mail: donghanzhao@sina.com。

引用本文: 赵冬晗. 斜坡式重力储能系统机械-电气综合仿真的多工具协同建模策略[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(4): 1343-1345.

Citation: ZHAO Donghan. Multi-tool collaborative modeling strategy for mechanical-electrical integrated simulation of sloped gravity energy storage system[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(4): 1343-1345.

随着科技的发展,全球对清洁能源的需求日益增加,储能技术在平滑间歇式能源功率波动、削峰填谷以及提供灵活功率调节等方面发挥了巨大的作用^[1],重力储能凭借其大容量、长寿命、环保等诸多优势而备受关注,展现出巨大的发展潜力。该系统的主要功能是将电能转化为重力势能进行能量存储,在需要时再将重力势能转化为电能释放,实现能量的有效存储与利用,但是斜坡式重力储能系统涉及复杂的机械传动、电气控制等多个子系统,导致其性能受机械结构、电气参数等多种因素的综合影响。所以,如果能准确地对其进行机械-电气综合仿真,从而深入研究系统的运行特性与优化策略,便能推动斜坡式重力储能系统飞速发展。但是经过众多学者的研究发现,单一的建模工具难以全面准确地描述斜坡式重力储能系统的复杂特性,多工具协同建模策略应运而生。本文旨在探讨斜坡式重力储能系统机械-电气综合仿真的多工具协同建模策略,为相关研究与工程实践提供参考。

1 斜坡式重力储能系统工作原理与特性

1.1 工作原理

斜坡式重力储能系统的构成主要包括:重物、轨道、提升装置、发电装置等。在储能的阶段,当处于电网低谷时段,系统中多余电能发挥作用,驱动电动机运转。电动机通过传动装置,牵引着重物沿着斜坡轨道缓缓向上攀升,在此过程中,电能逐步转化为重物的重力势能,完成能量的存储。在释能的阶段,当电网迎来高峰时段,重物在自身重力这一自然力量的驱使下,沿着斜坡轨道向下滑动带动传动装置运作,进而带动发电机发电,将储存的重力势能精准转化为电能,反馈回电网,为用电高峰的电力需求提供有力支撑。

1.2 系统特性

重力储能是一种利用固体质量块的重力势能进行电能存储和释放的储能方式,具有安全性高、成本低、寿命长、存储能量无衰减、建设周期短及环境友好等优势,可以满足大规模能量长时间储存的需求^[2]。相较于其他储能方式而言,虽然重力储能方法储存能量密度较低,但具有储存容量大、充放电次数不受限制、储能稳定性高等优势,且无化学原料泄漏和污染环境的风险^[3]。但是在运行的过程

中,机械部件的摩擦损耗、电气系统的能量转换效率以及控制策略的合理性等因素,都会对系统整体性能产生较大的影响,这也使得该系统涉及多学科理论,呈现出高度的复杂性。

2 多工具协同建模的必要性

2.1 系统复杂性

正如前文所述,斜坡式重力储能系统包含机械传动、电气控制、能量转换等多个子系统,各子系统之间存在复杂的工作关系,比如常见的机械传动系统的摩擦力会影响电气系统的功率消耗,电气控制策略的改变又会影响机械部件的运行状态。所以现有的单一建模工具往往只能针对某一特定领域或子系统进行建模,无法全面考虑多系统结合特性,导致难以准确反映系统的真实运行情况。

2.2 建模精度与效率需求

不同的建模工具在不同领域具有各自的优势。比如一些专业的机械建模软件在处理机械结构动力学问题时具有很高的精度和效率,而电气仿真软件在分析电气系统的动态特性方面是十分出色的,单一工具无法进行多系统建模。所以本文提出采用多工具协同建模,这种方式可以充分发挥各工具的优势,在保证建模精度的同时,提高建模效率。通过将完整的系统分解为多个子系统,利用各自领域工具分别建模,再通过接口实现各子模型的协同仿真,能够更准确地模拟系统的复杂运动。

3 常用建模工具及其协同方式

3.1 常用建模工具

机械建模工具: ANSYS Mechanical 是一款常用的机械仿真软件,其功能强大,可用于对斜坡式重力储能系统的机械结构进行静力学及动力学分析,能够极为精确地计算出机械部件的应力、应变、位移以及运动特性,为机械结构的优化设计提供依据。

电气建模工具: MATLAB/Simulink 在电气系统建模与仿真方面应用十分广泛,该软件可以非常便捷地搭建各种电气电路模型,从而方便我们对电气系统的控制策略、功率变换等进行仿真分析,并且其拥有丰富的模块库和强大的编程功能,便于进行复杂电气系统的设计与优化。

多体动力学建模工具: ADAMS 是一款专业的

多体动力学分析软件,能够方便我们对斜坡式重力储能系统中重物的运动、传动机构的动力学特性进行详细分析,并且可以考虑到部件之间的摩擦、碰撞等因素,准确模拟机械系统的各种运动行为。

3.2 协同方式

数据接口协同:通过建立不同建模工具之间的数据接口,实现模型数据的传递共享。比如上述提到的ANSYS Mechanical中完成机械结构建模与分析后,将得到的相关力学参数通过数据接口传递到MATLAB/Simulink中,用于电气系统的负载计算,反过来MATLAB/Simulink中计算得到的电气控制信号也可以传递回机械模型,影响机械系统的运行状态。

联合仿真平台协同:利用一些联合仿真平台,比如COMSOL Multiphysics,该平台支持多物理场的联合仿真,可以将机械、电气等多个不同领域的模型集合在同一个平台上进行综合仿真,通过设置合适的物理场接口和边界条件,即可实现各子模型之间的交互与协同,直观地展示系统的综合性能。

4 结论

斜坡式重力储能系统是一种具有广阔应用前景的储能技术,因其不依赖水资源、选址灵活、效率高等优势,未来有望成为缺水地区重要的储能技术之一^[4],其机械-电气综合仿真对于系统的优化设计和性能提升有着十分重要的意义。多工具协同建模策略能够充分发挥不同建模工具在各自领域的优势,有效解决系统的复杂性带来的建模难题,提高整体建模精度和效率。未来,随着储能技术的不断

发展,多工具协同建模策略将在斜坡式重力储能系统的研究与工程实践中发挥更为重要的作用。同时,还需要进一步探索更加高效便捷的协同建模方法,加强不同建模工具之间的兼容性和数据交互能力,以推动斜坡式重力储能系统技术的不断进步。

参考文献

- [1] 谢小荣,马宁嘉,刘威,等.新型电力系统中储能应用功能的综述与展望[J].中国电机工程学报,2023,43(1):158-168. DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.220025.
XIE X R, MA N J, LIU W, et al. Functions of energy storage in renewable energy dominated power systems: Review and prospect[J]. Proceedings of the CSEE, 2023, 43(1): 158-168. DOI:10.13334/j.0258-8013.pcsee.220025.
- [2] 刘大猛,牟雪鹏,石博豪,等.斜坡式重力储能系统机械与电气联合仿真的多软件协同建模方法[J].储能科学与技术,2024,13(9):3266-3276. DOI:10.19799/j.cnki.2095-4239.2024.0243.
LIU D M, MU X P, SHI B H, et al. Multi-software collaborative modeling method for mechanical and electrical co-simulation of slope gravity energy storage systems[J]. Energy Storage Science and Technology, 2024, 13(9): 3266-3276. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2024.0243.
- [3] 赫文豪,李懂文,杨东杰,等.新型重力储能技术研究现状与发展趋势[J].大学物理实验,2022,35(5):1-7.
HE W H, LI D W, YANG D J, et al. Research and development of novel gravity energy storage technologies[J]. Physical Experiment of College, 2022, 35(5): 1-7.
- [4] 邱清泉,罗晓悦,林玉鑫,等.垂直式重力储能系统的研究进展和关键技术[J].储能科学与技术,2024,13(3):934-945. DOI:10.19799/j.cnki.2095-4239.2023.0789.
QIU Q Q, LUO X Y, LIN Y X, et al. Research progress and key technologies in vertical gravity energy storage systems[J]. Energy Storage Science and Technology, 2024, 13(3): 934-945. DOI:10.19799/j.cnki.2095-4239.2023.0789.