



## 重力储能技术研究进展及展望

陈述平, 章光裕, 陈一铭, 刘光然  
(新华水力发电有限公司, 北京 100070)

**摘要:** 随着可再生能源占比提高, 电网面临间歇性和波动性挑战, 亟需大规模长时储能技术。抽水蓄能作为成熟技术, 虽受地理条件限制, 但其信息化与智能化转型为新质生产力发展提供了重要参考。重力储能技术以其选址灵活、效率高和环境友好等优势成为研究热点。本文系统分析了垂直式、斜坡式等重力储能技术原理与发展现状, 并融入抽水蓄能工程信息化实践, 探讨重物控制、并网技术和系统效率等关键问题。结论指出, 重力储能技术需在重物传动、集群控制和材料研发等方面突破, 信息化与智能化将是未来重要发展方向, 抽水蓄能的工程管控经验可为其提供借鉴。

**关键词:** 重力储能; 抽水蓄能; 可再生能源; 信息化

doi: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2026.0312

中图分类号: TK 02

文献标志码: A

文章编号: 2095-4239 (2026) 04-1360-03

## Research progress and prospect of gravity energy storage technology

CHEN Shuping, ZHANG Guangyu, CHEN Yiming, LIU Guangran  
(Xinhua Hydropower Co., Ltd., Beijing 100070, China)

**Abstract:** With the increasing proportion of renewable energy, the power grid is facing intermittent and fluctuating challenges, and large-scale long-term energy storage technology is urgently needed. As a mature technology, pumped storage is limited by geographical conditions, but its information and intelligent transformation provides an important reference for the development of new productivity. Gravity energy storage technology has become a research hotspot because of its advantages of flexible site selection, high efficiency and environmental friendliness. In this paper, the principle and development status of vertical and sloping gravity energy storage technologies are systematically analyzed, and the key issues such as weight control, grid-connected technology and system efficiency are discussed by integrating them into the informatization practice of pumped storage projects. It is pointed out that gravity energy storage technology needs to make breakthroughs in heavy-weight transmission, cluster control and material research and development, and informationization and intelligence will be the important development direction in the future. The engineering management and control experience of pumped storage can provide reference for it.

**Keywords:** gravity energy storage; pumped storage; renewable energy; informatization

收稿日期: 2026-04-09; 修改稿日期: 2026-04-10。

第一作者及通信联系人: 陈述平 (1978—), 男, 硕士, 高级工程师、注册信息安全工程师, 研究方向为智能电力系统和信息化。E-mail: qikanfx@163.com。

引用本文: 陈述平, 章光裕, 陈一铭, 等. 重力储能技术研究进展及展望[J]. 储能科学与技术, 2026, 15(4): 1360-1362.

**Citation:** CHEN Shuping, ZHANG Guangyu, CHEN Yiming, et al. Research progress and prospect of gravity energy storage technology[J]. Energy Storage Science and Technology, 2026, 15(4): 1360-1362.

全球能源结构正向低碳化转型，风能和太阳能等可再生能源占比逐渐提高。这些能源具有间歇性和波动性特点，给电力系统稳定运行带来巨大挑战。高效存储多余电力成为关键问题，尤其需要大规模长时储能技术。抽水蓄能受地理条件限制，但其工程信息化转型，如新华发电的抽水蓄能数智化管控平台通过“云大物移智”技术实现多层级精细化管理，为重力储能提供了协同发展路径。重力储能技术因其低碳、灵活和可扩展特性，成为填补长期储能空白的新选择。然而固体重物的不可流动性和不连续性，使重物启停和切换过程对机械传动和电网系统造成冲击。因此，文章旨在分析重力储能技术研究进展，探讨信息化技术在提升系统性能中的作用，并借鉴抽水蓄能工程经验，为重力储能技术发展提供参考。

## 1 重力储能技术原理与分类

### 1.1 垂直式重力储能技术

垂直式重力储能系统主要包括基于竖井和地面构筑物的储能形式。竖井重力储能利用废弃矿井或新建竖井，通过卷扬提升机升降重物实现能量存储和释放。英国 Gravitricity 公司提出了基于多卷扬提升机的方案，可在 150~1500 m 深的钻井中吊起和放下 500~5000 吨重物，系统响应时间小于 1 秒，效率最高达 90%。基于地面构筑物的系统则利用高塔或建筑实现重物提升，如瑞士 Energy Vault 公司的混凝土砌块储能塔方案<sup>[1]</sup>。相比之下，抽水蓄能依赖水库高差，虽效率高(约 75%)，但受地形限制；其信息化管控平台，如新华发电的工程数据中心通过 BIM 模型集成和 AI 分析优化了资源调度，为重力储能的重物管理提供参考。

### 1.2 斜坡式重力储能技术

斜坡式重力储能依托山体、倾斜矿井等斜坡地形，通过重物在斜坡上的上下运动实现能量转换。主要包括轨道式重力储能和架空缆车式重力储能两种技术路线。美国先进轨道储能公司 ARES 利用山体斜坡退役铁路开展重力储能研究，采用有轨电车装载重物在轨道上运动。斜坡架空缆车式技术则采用架空缆索与电动发电机结合，多个重物等间距悬吊在缆索上做连续循环运动<sup>[2]</sup>。抽水蓄能类似斜坡式设计(如山体水库)，但其智能化升级，如数字孪生平台通过物联网实时监控“人机料法环”要素，为重力储能的斜坡控制提供优化思路。

## 2 重力储能系统信息化关键技术

### 2.1 智能控制系统

智能控制系统是保障重力储能系统稳定高效运行的核心技术支撑，其核心任务是协调重物提升与

下降过程中的机械动作与电网功率需求之间的动态平衡。该系统通过高精度传感器网络实时采集重物位置、运行速度、电机转矩及电网频率等多源数据，并依托先进控制算法对系统运行状态进行精准感知与快速决策。在重物启停与工况切换过程中，控制系统通过调节四象限变流器的输出特性，动态优化永磁同步发电电动机的转矩与转速，从而有效抑制机械传动链的冲击载荷与电网侧的功率波动。抽水蓄能工程中，类似系统，如新华发电的智能并网单元通过自适应策略优化电网适配，其经验可减少重力储能功率波动风险。

### 2.2 状态监测与故障诊断

状态监测与故障诊断是保障重力储能系统安全稳定运行的核心技术环节。该系统机械结构复杂，卷扬机、钢丝绳、导轨等关键设备在重载高频工况下面临疲劳损伤与性能退化风险。物联网传感器网络负责实时采集这些关键部件的振动频谱、温度分布及应力变化等多维度物理数据。历史运行数据通过大数据分析技术进行深度挖掘，进而建立高精度故障预测模型，实现从被动维修向预测性维护的转变。抽水蓄能项目，如五岳电站通过 AI 风险识别技术实现安全隐患自动抓拍，该方案可移植至重力储能设备监测。

### 2.3 数字孪生技术

数字孪生技术通过构建重力储能系统的高精度虚拟模型，实现物理实体与数字化对象之间的深度交互与动态映射。该技术基于多源传感网络实时采集系统运行数据，依托机理建模与数据驱动方法建立涵盖机械结构、电气特性及控制策略的多领域仿真模型，形成与物理系统同步更新的虚拟镜像。在系统设计阶段，数字孪生平台可对重力储能的输送系统、提升系统及调度逻辑进行虚拟调试，通过多维度仿真分析验证控制策略的可行性，显著降低实物试验成本并缩短开发周期。抽水蓄能工程中，新华发电的“数智大脑”整合多模态 AI 大模型，实现数据驱动决策，其经验可为重力储能提供借鉴。

## 3 重力储能技术面临挑战与对策

### 3.1 重载快速提升与转移技术

垂直式重力储能系统单机功率目前难以突破 10 兆瓦量级，主要受限于垂直提升机的载重量和速度。矿用卷扬提升机最大提升高度可达 2000 米，有效载荷达 60 吨，但提升过程中钢丝绳会产生捻向扭力，对导轨产生压力和造成摩擦损耗。解决方案包括开发大推力直线电机，采用多段初级分段供电方式降低损耗，以及优化滑轮组设计减少摩擦损失。抽水蓄能中，新华发电通过 BIM 模型融合技术解决多格式数据壁垒，该方案可应用于重力储能的

机械设计优化。

### 3.2 重物启停与切换过程控制

固体重物的不可流动性和不连续性使重物启停和切换过程会对机械传动和电网系统造成冲击。重物在提升和下降过程中存在功率间歇问题，导致输入输出功率不连续。解决方案包括采用循环传送链式提升机实现连续性操作，开发智能控制系统精确控制重物位置和速度，以及优化机械传动系统减少冲击。基于信息化的预测控制算法可提前调整运行参数，实现功率平滑过渡。抽水蓄能工程通过总部级决策系统实现多项目功率协同，其自适应策略可增强重力储能电网适配性。

### 3.3 并网控制与能效提升

重力储能系统并网控制涉及发电电动机控制、功率调节和电网适配等技术难题。重物提升和下降过程中的动能变化会导致发电机输出功率波动，影响电网稳定性。解决方案包括采用四象限变流器实现对发电电动机的精确控制，开发自适应并网控制策略，以及优化系统运行参数提高效率。抽水蓄能中，新华发电的工程AI智脑通过RAG技术实现报告智能生成，该数据驱动模式可提升重力储能的调度效率。

## 4 重力储能发展趋势与展望

重力储能技术未来发展将围绕提升单机容量、提高系统效率和降低建设成本展开，信息化和智能化将成为重要发展方向<sup>[9]</sup>。抽水蓄能的规模化应用经验为重力储能提供产业化蓝图。

### 4.1 技术创新方向

未来重力储能技术创新将主要集中在材料、结构和控制三个方面。新材料应用包括开发高强度轻质材料提高系统可靠性和安全性，新型复合材料减少重物自重提高有效载重。结构优化方面包括创新垂直提升机设计提高提升速度和载重量，优化重物结构设计减少空气阻力和能量损失。控制系统创新包括开发智能控制算法提高系统响应速度和控制精度，集成人工智能技术实现系统自主学习和优化运行。抽水蓄能工程中，AI档案管理系统通过区块链技术保障数据安全，该方案可应用于重力储能的数据治理。

### 4.2 应用场景拓展

重力储能技术应用场景将从大规模电网储能向多元化应用拓展。在电网侧，重力储能可用于调峰

填谷、频率调节和备用电源等场景。在电源侧，可与风电、光伏电站配套建设，平滑输出功率波动。在用户侧，可为工业园区、数据中心和商业建筑提供应急电源和电费管理服务。在特殊场景中，重力储能可利用废弃矿井、高墩桥梁和山地地形等资源，实现土地和空间的综合利用。抽水蓄能通过总部级管控平台实现多项目协同，其“工程管理全过程、风险预防全方位”模式为重力储能提供管理框架。

### 4.3 产业化发展路径

重力储能产业化发展需经过示范验证、商业推广和规模化应用三个阶段。当前正处于示范验证阶段，需通过示范项目验证技术可行性和经济性。商业推广阶段需形成标准化产品系列和服务体系，降低项目建设成本。规模化应用阶段需实现产业链协同和集群化发展，形成市场竞争力。政策支持方面需将重力储能纳入国家储能产业规划，提供研发资助和示范项目支持，制定相关技术标准和规范。抽水蓄能的《抽水蓄能电站工程信息化数字化技术导则》为重力储能标准制定提供参考。

## 5 结语

信息技术在提升重力储能系统性能方面发挥关键作用，智能控制系统、状态监测技术和数字孪生技术可显著提高系统控制精度和运行效率。当前重力储能技术在重载快速提升和转移、重物启停和切换过程控制、并网控制和能效提升等方面仍存在技术难题，需通过技术创新和系统优化加以解决。未来重力储能技术将向更高单机容量、更高系统效率和更低建设成本方向发展，信息化与智能化将是重要趋势。抽水蓄能的工程实践表明，多层级数智化管控平台能有效提升储能系统经济性，重力储能技术有望借鉴其经验，成为抽水蓄能的重要补充，为构建新型电力系统提供支撑。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 张京业, 林玉鑫, 邱清泉, 等. 基于斜坡和山体的重力储能技术研究进展[J]. 储能科学与技术, 2024, 13(3): 924-933. DOI:10.19799/j.cnki.2095-4239.2023.0667.
- [3] 郑步高, 陈前, 崔宇, 等. 新型储能技术进展及未来展望[J]. 科技中国, 2025(5): 67-74.