

电磁间歇式机械制动器结构设计及分析

李博¹ 刘佳²

1. 西北工业大学宁波研究院; 2. 上海小米智能技术有限公司

DOI: 10.12238/ems.v5i5.6774

[摘要] 电磁机械制动器是一种常见的制动装置, 利用电磁原理来驱动机械系统运动从而对机械系统产生制动效果。它在许多工业领域和机械设备中得到广泛应用, 例如汽车、电梯、起重设备等。机械式制动器主要有四种结构, 分别是外抱瓦块式、内涨蹄式、带式及盘式, 但制动原理都是通过动、静盘的摩擦力实现, 以两对应摩擦片产生的摩擦力进行制动, 所以在有润滑油的情况下, 制动效果将会下降明显甚至出现失效情况, 并且工作过程伴随大量电能的损耗。因此本文提出电磁间歇式机械制动器结构方案, 以电磁铁驱动锥齿轮副啮合与断开, 从而实现对传动轴的制动, 并且设计间歇销的运动轨迹方程, 此制动器电磁铁工作功率 15W, 触发工作时间 5S, 如此计算电磁铁吸合与释放所需能量为 4×10^{-5} Kwh, 而且在齿轮副制动阶段和分离阶段耗能为零, 能耗优化效果突出。

[关键词] 机械式制动器; 电磁铁; 压缩弹簧; 完全接触; 低功耗

Structural Design and Analysis of Electromagnetic Intermittent Mechanical Brakes

Li Bo1, Liu Jia2

1. Ningbo Research Institute of Northwestern Polytechnical University;

2. Shanghai Xiaomi Intelligent Technology Co., Ltd

[Abstract] Electromagnetic mechanical brake is a common braking device that uses electromagnetic principles to drive the movement of mechanical systems and produce braking effects on them. It is widely used in many industrial fields and mechanical equipment, such as automobiles, elevators, lifting equipment, etc. There are four main structures of mechanical brakes, namely the external tile type, the internal expansion shoe type, the belt type, and the disc type. However, the braking principle is achieved through the friction between the dynamic and static discs, using the friction generated by the two corresponding friction plates for braking. Therefore, in the presence of lubricating oil, the braking effect will decrease significantly or even fail, and the working process will be accompanied by a large amount of electrical energy loss. Therefore, this article proposes a structural scheme for an electromagnetic intermittent mechanical brake, which uses an electromagnet to drive the engagement and disconnection of the bevel gear pair, thereby achieving braking of the transmission shaft. The motion trajectory equation of the intermittent pin is designed, and the working power of the electromagnet for this brake is 15W, with a triggering working time of 5S. Therefore, the energy required for the electromagnetic attraction and release is calculated to be 4×10^{-5} Kwh, and the energy consumption during the braking and separation stages of the gear pair is zero, The energy consumption optimization effect is outstanding.

[Keywords] mechanical brake; Electromagnet; Compression spring; Complete contact; low power consumption

引言

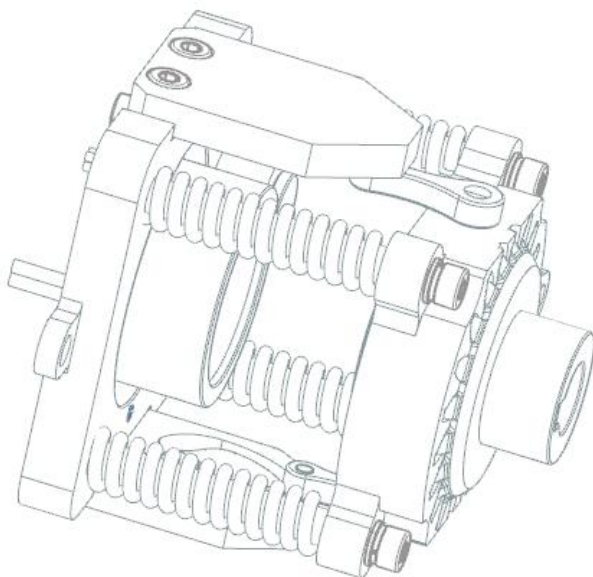
电磁机械制动器利用电磁感应来产生制动力,通过控制电流的大小和方向来实现对机械系统的制动控制。它具有响应速度快、可靠性高、使用寿命长等优点,因此被广泛应用于各种机械设备中。然而,随着技术的发展和应用范围的扩大,电磁机械制动器也面临着一些问题和挑战,如制动力不稳定、能耗较大、噪音较大等。随着电气工程和材料科学的进步,电磁机械制动器逐渐得到改进和完善,其性能和可靠性也不断提高。

1. 电磁和机械制动器的现存问题

长时间工作或高负载工作状态下,可能导致电磁制动器过热,影响其性能和寿命。电磁制动器可能受到外部电磁干扰影响,导致其工作不稳定或故障,且电磁制动器在工作过程中会产生一定的能耗,需要注意能效的优化。电磁制动器电磁铁冲击大,易引起振动,经常起动、制动,电磁铁的碰撞使其寿命较短。而机械制动器经过长时间使用后,摩擦片和制动盘可能存在磨损现象,影响制动性能。机械制动器需要定期进行检查和维护,维护成本较高。相比于电磁制动器,机械制动器的响应速度较慢,不适合需要快速制动的场景。

2. 电磁间歇机械制动器的技术方案

本文对电磁间歇机械制动器进行总体方案设计,设计装配结构如下图:



其采用伞形内外锥齿轮配合实现啮合制动,内锥齿轮运动行程轨迹及最大运动距离计算如下:

$$S_1 = 2R + S$$

$$S_2 = S_1 + L$$

其中 S 为内锥齿轮运动距离, R 为销轴的半径, 1mm ;

S_1 为销轴中心点移动距离;

S_2 为销轴最大移动距离,即弹簧的最大压缩距离;

L 为销轴轨迹安全运行距离,取 4mm ;

2.1 循环轨迹模型建立及结构设计方案

根据方程建立循环自锁轨迹并进行总体轨迹导向结构设计,综合局部运动需求进行优化得到以下结构示意图,位置1为锥齿轮副啮合位置即制动位,从位置1运动到位置2为电磁铁工作行程 S_2 ,然后电磁铁断电,由于弹簧的压力使得销轴沿着位置2至位置3轨迹运动,到达制动器松脱位置3,最后根据需要电磁铁上电压压缩弹簧带动销轴从位置3运行至位置4,而后断电,销轴同样由弹簧力驱动沿着位置4到位置1,周而复始循环往复;在以上过程中可以看到,电磁铁工作过程仅为位置1到位置2和位置3到位置4,所以在制动及松脱单周期循环中工作时间占比为50%,但实际功能执行时占比远低于此,所以此方案能耗可以忽略。

$$y = -0.0043x^3 + 0.1836x^2 - 2.627x + 19.172$$

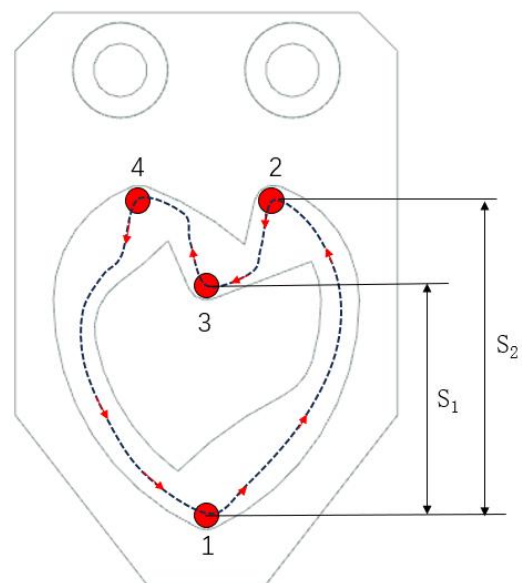
——位置1到位置2

$$y = -0.0812x^2 + 1.5788x - 4.2017$$

——位置2到位置3

$$y = 0.0843x^2 - 2.8446x + 16.899$$

——位置3到位置1



2.2 压缩弹簧校核

根据内锥齿轮最大运动距离,即可推导出弹簧压缩量 $H_n = 25\text{mm}$;根据单根弹簧最大载荷 20N 压力值计算弹簧直径 d

$$d \geq 1.6 \sqrt{\frac{Pn \cdot K \cdot C}{\tau p}}$$

其中 τp ——许用切应力, 根据材料及载荷选型有 340MPa;

$$K = (4C-1) / (4C-4) + 0.615/C = 1.3105$$

$$C = D/d$$

D—弹簧中径, 5mm;

d—弹簧线径, 1mm;

经过弹簧强度核算后, 满足改条件载荷使用要求;

反推验证弹簧长度等参数如下:

$$\text{中心节距 } \delta = (D_2 - d) / d = 2.5 \text{ mm};$$

$$\text{有效圈数 } n = L / \delta = 20;$$

$$\text{总圈数 } n_{\text{总}} = n + 2;$$

$$\text{极限压缩高度 } H_0 = n_{\text{总}} \cdot d = 22 \text{ mm};$$

$$\text{弹簧可压缩高度 } H = L - H_0 = 28 \text{ mm};$$

经过以上计算, 弹簧选择参数如下:

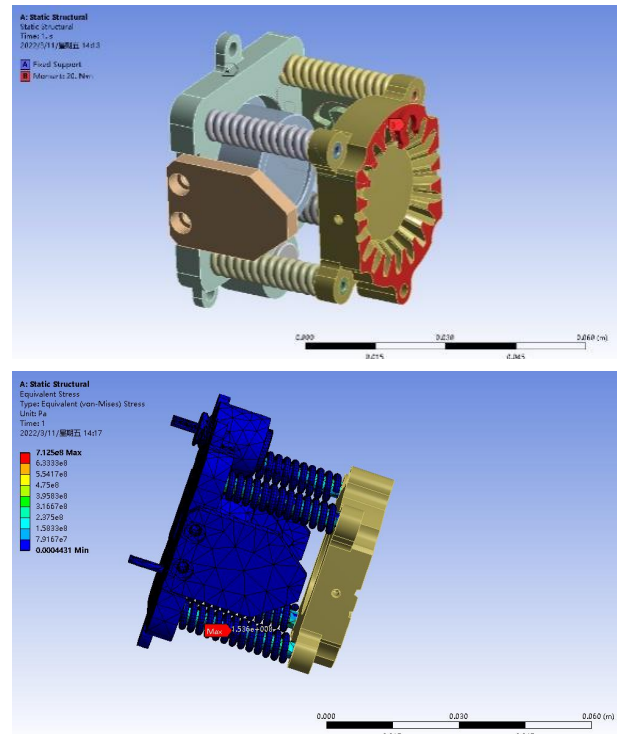
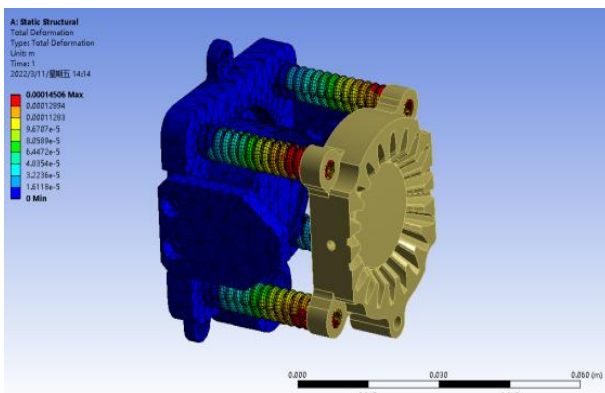
线径 (mm)	弹簧中径 (mm)	长度 (mm)	中心节距 (mm)	材料	单圈刚度 (N/mm)
1	5	50	2.5	65Mn	79

2.3 啮合锥齿轮强度分析

该电磁机械式制动器采用两齿轮副接触产生制动, 通过零位控制及配合有弹簧压力的锥齿轮且自对准啮合的特点, 完成两齿轮副的接触, 从而改变摩擦系数对制动扭矩的限制。因此对制动器锥齿轮副进行仿真分析如下:

边界条件为: 1) 制动扭矩 $T_0 = 20 \text{ NM}$; 2) 底板固定; 3) 不锈钢材料;

经过分析后结果: 最大变形 0.14mm, 最大应力 $1.536 \times 10^8 \text{ Pa}$ 小于材料极限屈服应力 $3.1 \times 10^8 \text{ Pa}$, 可以满足使用强度要求。



结语

电磁机械制动器作为一种重要的制动装置, 具有广阔的应用前景和发展空间。为了更好地满足工业生产的需求, 我们设想提出了布局紧凑、高扭矩、耐候性强的设计方案, 并且针对制动器整体结构设计及强度分析进行校核, 结合电磁制动器及机械制动器的优点, 为进一步研究和改进电磁机械制动器的性能打下基础, 并可以期待提高其可靠性和使用寿命的潜力。相信随着技术的不断进步和应用范围的扩大, 电磁机械制动器在未来将发挥更加重要的作用。

[参考文献]

- [1] 立式电动机用盘式直流电磁制动器的结构改进[J]. 赵连平. 电机技术, 2019 (05)
- [2] 多耦合失电型电磁制动器的设计[J]. 李华锋, 赵康康电子制作, 2022 (16)
- [3] 电子机械制动器结构参数的优化设计[J]. 于军波; 丁茹; 郝永平; 邵伟平, 成组技术与生产现代化, 2015 (04)
- [4] 快速电磁制动器创新性技术的研究[J]. 韩桂新. 电气技术, 2015 (06)
- [5] 电子机械制动器的建模、仿真和实验研究[J]. 刘志强; 王振; 陈玉锦机电工程, 2023 (04)
- [6] 机械制动器摩擦状态监测系统的研制 J. 李增松; 鲍久圣; 邓景泉; 王波润滑与密封, 2018 (09)