

减速器中蜗杆与斜齿轮 反向驱动力应用

白妮¹, 胡建锋¹, 蒲小蓉²

1. 宁波横河精密工业股份有限公司 浙江慈溪 314300

2. 陕西渭河工模具有限公司 陕西宝鸡 722405

摘要: 汽车中采用蜗杆与斜齿轮传动, 提升传动效率, 实现加工刀具的标准化、通用化和系列化。在不同使用场景利用减速器反向驱动转矩实现功能, 满足人们应用的需求。

关键词: 蜗杆; 斜齿轮; 自锁; 反向驱动转矩

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.05.008

机械传动中蜗轮与蜗杆实现直角传递运动, 啮合特点是传动比大、传动平稳、承载能力大。单头蜗杆易实现自锁功能, 传动效率相对低; 多头蜗杆与蜗轮传动效率提升, 但多头蜗杆精度相对比单头蜗杆分度要求高, 蜗轮副啮合时需设计模数、螺旋升角与蜗杆一一匹配的蜗轮滚刀, 增加滚刀成本和延长加工工期。

为规避此问题, 采用蜗杆与斜齿轮啮合传动, 提升减速器传动效率, 易实现标准化、通用化和系列化。蜗轮副拓展为蜗杆与斜齿轮传动, 其啮合接触为线接触或小面积接触, 非包络线或包络面接触, 承载性能略小, 但使用环境与噪声等基本无差异。

自锁功能或反向驱动转矩是从输出端施加外力后驱动前一级零部件、电动机旋转的运动。反向运动过程中需克服减速器内部齿轮副啮合摩擦阻力、蜗杆与

斜齿轮啮合摩擦阻力和电动机反向运转阻力。

蜗杆与斜齿轮啮合在各行业中广泛应用, 尤其在汽车各传动部件中减速器传动广泛应用。依据使用功能不同, 传动中有增大反向驱动转矩或自锁力矩的设计结构, 也有减小反向驱动转矩的设计要求。对于要维持设定工作状态就要增大反向驱动转矩或自锁力矩; 对于实现设计功能后要轻松收回或安全施救时要减小反向驱动转矩。

不同工况下反向驱动力特点

隐藏式门把手、充电口盖、滑移车门等传动结构在完成设定工作后, 用较小的力或力矩将产品开启或关闭恢复到初始状态, 减速器无自锁力矩或反向驱动转矩很小, 尤其是滑移车门在断电或安全施救时需用较小的力或力矩开/关车门。

隐藏式门把手电动机旋转驱动汽车门把手移出车体外，当人上车后门把手收缩到车体内部（也可通过电动机反向运转收回门把手）。充电口盖充电完成后可通过手动施加力或力矩关闭充电口盖（同样也可通过电动机关闭充电口盖），这种情况下蜗杆、斜齿轮和电动机三者都无自锁功能或反向驱动转矩很小才能实现设计目标。

传动结构设计

为实现消除自锁或降低反向驱动转矩的目的，需对减速器机构进行设计优化。

1. 电动机轴与蜗杆为一体式

这种设计，蜗杆精度相对高，电动机轴（即蜗杆）轴向窜动量 $\leq 0.25\text{mm}$ ，远离电动机内部的一端用轴承或轴套等定位支撑，保证电动机安装定位处主轴中心与蜗杆轴中心同轴度 $\leq 0.1\text{mm}$ 。

由于蜗杆前端轴承支撑弯曲变形小，无悬臂梁结构形成，斜齿轮与蜗杆啮合时蜗杆齿面造成蜗杆变形量 $\leq 0.1\text{mm}$ ，斜齿轮旋转（或输出端旋转）斜齿面给蜗杆啮合齿面施加作用力从而驱动蜗杆带动电动机轴反向运转。反向运转时，蜗杆与斜齿轮基本保持设计时的啮合间隙和啮合角，减速器各零部件啮合间隙和啮合角度在理论范围内从而实现反向小扭矩顺畅运转。

利用啮合间隙、轴向窜动和零件的高精度实现小的反向驱动力矩。此设计中电动机轴与蜗杆为一体或电动机轴与蜗杆无间隙转接配合。

2. 电动机轴与蜗杆为分体式

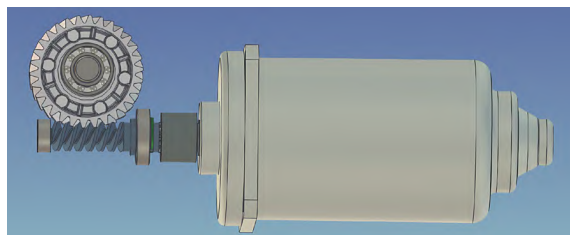
利用间隙转接消除蜗杆与斜齿轮啮合造成蜗杆或电动机轴或斜齿轮或其中两者或三者变形而形成卡滞，间隙转接在电动机与蜗杆之间应用，蜗杆两端用轴承或轴套等定位支撑。

蜗杆与电动机轴通过花键、矩形孔或槽、D形或其他形式的联轴器等方式连接，利用联轴器与电动机轴、联轴器与蜗杆间隙配合增加蜗杆与齿轮啮合变形裕度，也可通过增大蜗杆与斜齿轮啮合间隙；利用联轴器与两端连接的零部件间隙消除蜗杆变形与电动机轴同轴度偏差的影响。运转过程无自锁力矩或反向驱动转矩很小从而实现从输出端施加力或力矩后驱动电

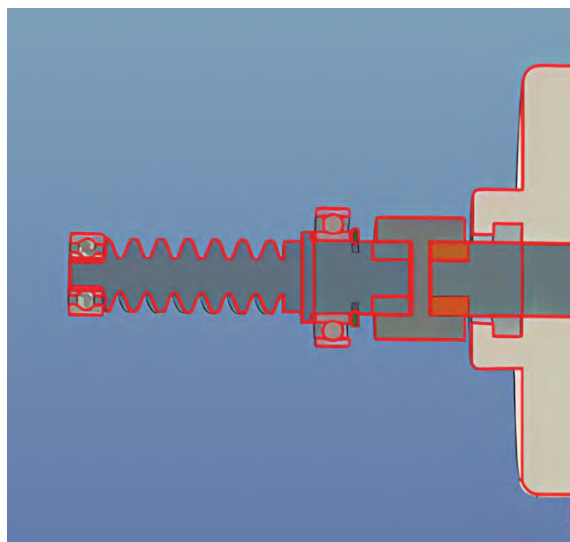
动机轴运转。

这一方法广泛使用，对蜗杆和斜齿轮的精度要求不高，同时对各零部件的加工精度、装配精度要求较低，相对整体成本不高。

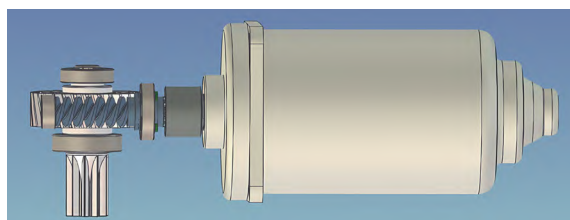
两种消除自锁或降低反向驱动转矩的传动结构如图1所示。



a) 正视图



b) 俯视图



c) 局部剖面图

图1 无自锁功能或小反向驱动转矩蜗杆与斜齿轮传动机构

其中，斜齿轮的齿面推动蜗杆旋转时蜗杆受力容易变形或卡滞导致反向驱动力矩增大，一般情况下反向驱动力矩比电动机正向驱动力矩大较多，为减小反向驱动力矩大故在蜗杆与电动机之间采用联轴器（或叫转接轴），联轴器与两端连接零部件分别采用间隙

配合，有效规避电动机与蜗杆不同轴受力变形的风险。通过以上两种措施实现反向驱动力矩小的要求。

另外，要维持驱动机构的固定状态，蜗杆与斜齿轮需有一定的自锁能力或相对大的反向力矩，防止运动过程中受到冲击、振动等外部因素而改变产品设定的固定位置或状态。运转时电动机驱动调整到预期设定的位置后电动机停止工作，但产品受到振动、自身重力等因素影响会改变设定的位置，此时产品中的蜗杆、斜齿轮、电动机其一或其二或共同应具有防止产品位置改变功能。这一情况下蜗杆与斜齿轮或电动机必须具有反向驱动力矩或自锁能力。

增加自锁能力或反向驱动力的措施

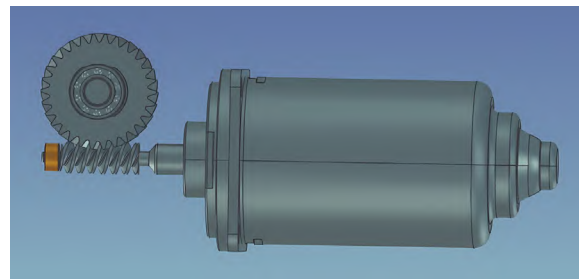
一般情况下蜗杆与斜齿轮啮合没有自锁功能，要具备反向驱动力矩或自锁能力必须采用相对应的措施，下面提供三种措施以备选用：

1) 蜗杆设计成悬臂或者蜗杆前端支撑轴小。当反向运动时因蜗杆悬臂或蜗杆前端支撑轴偏小，当从输出端运转时斜齿轮的齿面对蜗杆啮合齿面施加作用力导致蜗杆产生变形，从而改变蜗杆与斜齿轮啮合间隙或啮合角度，导致两者无法按照电动机正向驱动时设计的啮合状态运转从而实现反向扭矩增大或自锁。此设计会对啮合的蜗杆与斜齿轮零件之一或两者有损伤，此结构主要应用在反向驱动转矩不大、自锁力矩要求不大或传动精度不高的蜗杆与斜齿轮减速器中。

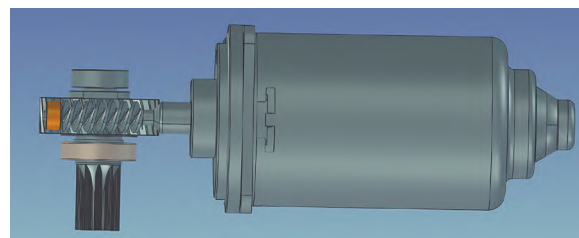
2) 利用传动啮合间隙实现自锁或反向驱动转矩增大，主要通过轴向窜动形成蜗杆齿顶与斜齿轮齿根附近齿面啮合或蜗杆齿根附近齿面与斜齿轮齿顶啮合形成摩擦力增大或卡滞，也可利用电动机轴或蜗杆轴向窜动量大、小控制蜗杆与斜齿轮啮合侧隙。这一方法主要应用在蜗杆与电动机轴为一体式或蜗杆无间隙转接在电动机轴上，此方法广泛应用在反向驱动力矩大的各类蜗杆的传动机构中，应用效果较佳。

3) 此情况主要应用在噪声要求不高或无要求的情况下，电动机安装的定位基准与固定蜗杆的一端或两端定位孔同轴度偏差大（即两者偏心不同轴，同轴度偏差值不超过蜗杆弹性变形量），自锁力矩或反向驱动转矩利用蜗杆与斜齿轮啮合不同轴而微量弯曲变形的不均匀性实现反向传动过程自锁力矩或反向驱动转矩增大。这种自锁功能存在反向运转滞后情况。这应

用在传动精度不高的自锁或反向驱动转矩机构中。上面介绍的三种增大反向驱动转矩或有自锁功能蜗杆与斜齿轮传动，结构简图如图2所示。



a) 正视图



b) 俯视图

图2 自锁功能或反向驱动转矩大的蜗杆与斜齿轮传动机构

结语

不同应用工况减速器设计不同，利用自锁或反向驱动力矩功能还是规避自锁或减小反向驱动转矩主要是由减速器要实现何种功能决定。总之，利用或规避自锁、反向驱动力矩是设计预期目的决定的，蜗杆与斜齿轮传动提升减速器效率，对减速器整体结构、性能优化明显，值得推广使用。

参考文献：

- [1] 成大先.机械设计手册[M].6版.北京：化学工业出版社，2017.
- [2] 陈宏钧.实用机械加工工艺手册[M].北京：机械工业出版社，2005.
- [3] 王先逵.机械制造工艺学[M].北京：机械工业出版社，2007.
- [4] 张也晗，刘永猛.机械精度设计与检测基础[M].哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2021.**AUTO1950**