

doi:10.3969/j.issn.1673-3142.2020.12.005

圆柱形传动沟槽设计及其运动干涉分析

邵长敬, 卢曦

(200093 上海市 上海理工大学 机械工程学院)

[摘要] 针对新型电磁扭杆离合器中扭杆组件传递动力的要求, 设计了一种圆柱形传动沟槽结构, 使扭杆组件上的钢球通过进入到沟槽中, 从而实现传递动力。首先, 根据扭杆组件的安装位置和摆动角度确定传动沟槽的位置, 其次, 对传动沟槽进行截面结构形式、接触角度以及尺寸大小的设计, 最后, 再对设计的传动沟槽进行运动干涉分析, 进一步验证了所设计沟槽的可行性, 最终得到了一种用于新型电磁扭杆离合器的传动沟槽结构。

[关键词] 沟槽设计; 运动校核; 电磁扭杆离合器; 接触角度

[中图分类号] TH871 [文献标志码] B [文章编号] 1673-3142(2020)12-0019-03

Design of Cylindrical Transmission Groove and Analysis of Motion Interference

Shao Changjing, Lu Xi

(School of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

[Abstract] Aiming at the requirements of the torsion bar assembly in the new electromagnetic torsion bar clutch to transmit power, the paper designs a cylindrical transmission groove structure that allows steel balls on the torsion bar assembly to enter the grooves to achieve the transmission of power. First, determine the position of the transmission groove according to the installation position and swing angle of the torsion bar assembly; second, design the cross-section structure form, contact angle, and size of the transmission groove; finally, perform motion interference analysis on the designed transmission groove. The feasibility of the designed groove is further verified, and a transmission groove structure for a new electromagnetic torsion bar clutch is finally obtained.

[Key words] groove design; motion check; electromagnetic torsion bar clutch; contact angle

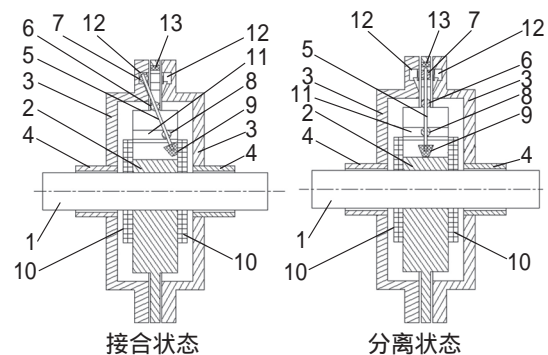
0 引言

《中国制造 2025》明确指出发展新能源汽车的新技术^[1], 节能与新能源汽车产业发展规划(2012-2020 年)确定以纯电力驱动作为我国新能源汽车产业发展和汽车工业转型的主要方向^[2]。然而, 当前汽车的动力总成领域内, 虽有大量适用于内燃机汽车的离合器种类, 但都不适用于由电机驱动的汽车上^[3], 所以, 研发适用于电机驱动的汽车离合器有十分巨大的市场潜能。本文设计的一种球槽结构就是适用于新型电磁扭杆离合器(图 1 所示)的传动球槽结构。

1 传动沟槽位置确定

图 2 为电磁扭杆离合器中的扭杆组件摆进传动沟槽后的结构示意图。在主转盘中轴线所在

平面内, 以主转盘中心为原点, 以主转盘中轴线为 X 轴, 以垂直于主转盘中轴线的直线为 Y 轴, 建立平面直角坐标系。图中 1 号钢球在初状态下的中心为点 O_1 , 2 号钢球在初状态下的中心为点 O_2 , 一号钢球摆动角度 α 后的球心为点 O_1' , 点 O_1' 即为传动沟槽的中心。



1. 主轴 2. 主转盘 3. 离合盘 4. 轴筒 5. 弹性扭杆 6. 2号钢球
7. 1号钢球 8. 3号钢球 9. 永磁体块 10. 电磁线圈 11. 导向槽孔 12. 离合传动沟槽 13. 有磁体环

图 1 电磁扭杆离合器结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of electromagnetic torsion bar clutch structure

基金项目: 上海市自然科学基金“基于强度场的结构设计-制造定量匹配理论研究”(19ZR1435500); 上海汽车工业科技发展基金会“新能源汽车无冲击高效能电磁离合器研发”(1821)
收稿日期: 2019-12-31 修回日期: 2020-01-13

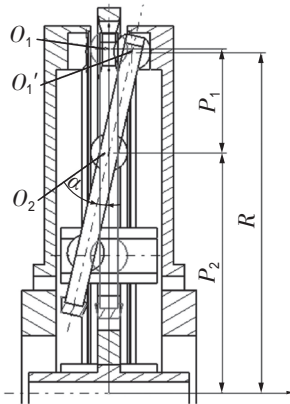


图2 扭杆摆进沟槽后结构示意图

Fig.2 Schematic structure of torsion bar after into groove

根据几何知识可得

$$R = P_2 + P_1 \cdot \cos\alpha \quad (1)$$

式中： α ——扭杆组件最大摆动角度； R ——传动沟槽在离合盘上的半径； P_1 ——初始状态下，1号钢球球心与2号钢球球心之间的垂直距离； P_2 ——初始状态下，2号钢球球心与主转盘中轴线的垂直距离。

由式(1)可求得传动沟槽位置即为离合盘上的半径为 R 的圆上。

本离合器结构中， $\alpha = 13^\circ$ ， $P_1 = 45.17 \text{ mm}$ ， $P_2 = 104.82 \text{ mm}$ ，所以可得 $R = 149 \text{ mm}$ 。

2 传动沟槽截面形式确定

传动沟槽其结构设计应根据零件工作方式、承载形式等来进行^[4]。为了满足方便钢球进出，低冲击以及杆组件通过沟槽传递力矩的功能要求，将传动沟槽设计成圆形截面，如图3所示。

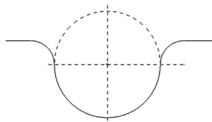


图3 传动沟槽截面形式示意图

Fig.3 Schematic diagram of drive groove cross-section

3 传动沟槽接触角度确定

沟槽的截面为圆形结构，与沟槽接触的钢球也为球形结构，所以，钢球进入沟槽后与传动沟槽的接触方式为单点接触，如图4所示。根据几何知识可知，钢球与传动沟槽的接触角度越大，钢球施加给沟槽的压力就越小，摩擦力也就越小，系统的传递效率就越高，且接触角度为 90° 时，传动效率最佳；其中，接触角度过大时，钢球会难以出入沟槽；接触角度过小，沟槽则无法实现传递动力的功能。故在此将沟槽接触角度设计为

70° ，即 $\beta = 70^\circ$ 。

4 传动沟槽尺寸确定

对于传动沟槽圆形截面尺寸，即是要确定圆形截面的圆心坐标，以及半径大小。

如图4所示，以1号钢球中心 O 为坐标原点建立平面直角坐标系 xoy ，其中，沟槽圆与1号钢球相切于点 B ，沟槽圆心为点 $P(x_1, y_1)$ ，过点 P 向 y 轴做垂线交 y 轴于点 A ，1号钢球半径 r 为 OB ，沟槽半径 r_1 为 PB 。

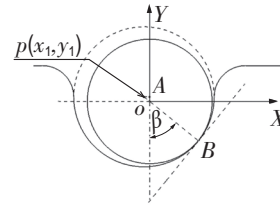


图4 钢球进入沟槽的结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of steel ball entering groove

在 $\text{RT } \triangle OAO_1$ 中，

$$\begin{cases} x_1 = (r_1 - r) \cdot \sin\beta \\ y_1 = (r_1 - r) \cdot \cos\beta \end{cases} \quad (2)$$

所以，可得传动沟槽圆的方程为

$$[x - (r_1 - r) \cdot \sin\beta]^2 + [y - (r_1 - r) \cdot \cos\beta]^2 = r_1^2 \quad (3)$$

为了使钢球能够进入到传动沟槽当中，则沟槽半径 r_1 必须大于1号钢球的半径 r ，即满足关系 $PB > OB$ 。而本离合器中钢球的半径 $r = 16 \text{ mm}$ ，则可将沟槽的半径 r_1 设计为 $r_1 = 18 \text{ mm}$ ，从而可得沟槽圆的圆心坐标为 $(0.68, 1.88)$ 。

5 工作沟槽宽度和深度确定

工作沟槽宽度和深度直接影响着接触点位置以及接触角度的大小^[5]，因此必须对其进行设计。工作沟槽的深度、宽度等参数可根据1号钢球与传动沟槽的接触点 B 的位置来确定。

如图5所示，过点 P 向 x 轴做垂线且延长，分别交 x 轴和沟槽圆于点 G, C ，过点 B 向 y 轴作垂线交直线 PC 于点 D ，过点 P 向 y 轴方向两边作垂线交沟槽圆于点 E, F ， L_3, L_4 分别为工作沟槽的深度、宽度。

为保证1号钢球能够进入到沟槽，且进入传动沟槽后能与沟槽实现 70° 的接触角度，可得

$$\begin{cases} L_3 \geq EF \\ L_4 \geq PD = OB \cdot \cos\beta + PG \end{cases} \quad (4)$$

其中：

$$\begin{cases} EF = 2r_1 \\ PD = r \cdot \cos\beta + (r_1 - r) \cdot \sin\beta \end{cases} \quad (5)$$

对于本离合器结构中，钢球的半径 $r = 16 \text{ mm}$ ，

沟槽的半径 r_1 为 $r_1=18\text{ mm}$, $\beta=70^\circ$, 可得

$$\begin{cases} L_3 \geq EF = 36\text{ mm} \\ L_4 \geq PD = 7.35\text{ mm} \end{cases} \quad (6)$$

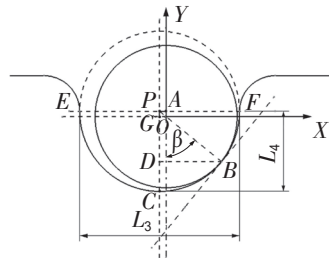


图 5 沟槽与钢球截面参数示意图

Fig.5 Schematic diagram of cross-section parameters of groove and steel ball

6 运动干涉校核

下面对所设计的沟槽结构进行运动学校核分析,用以确定所设计的传动沟槽是否与其他零部件发生摩擦、碰撞等干涉现象^[6]。

对于离合器接合、分离过程,扭杆依靠摆进、摆出传动沟槽实现动力的传递。因此要求扭杆组件摆进、摆出过程中,扭杆不与传动沟槽发生干涉现象;与此同时,要求 1 号钢球摆进传动沟槽后,扭杆组件下端永磁体不与电磁线圈发生干涉现象,如图 6 所示。即需要校核的是:(1)结合过程中扭杆是否与传动沟槽发生运动干涉现象;(2)永磁体是否与线圈发生运动干涉现象。

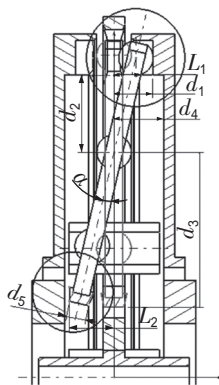


图 6 扭杆摆进沟槽结构示意图

Fig.6 Schematic diagram of torsion bar swinging into groove

图 6 为扭杆组件及其永磁体由初始位置至最终位置运动轨迹示意图,根据校核条件可得

$$\begin{cases} L_1 = d_2 \cdot \tan \alpha + \frac{4}{\cos \alpha} \\ L_2 < d_3 \cdot \tan 13^\circ + \frac{d_5}{2} \end{cases} \quad (7)$$

若满足条件:(1) $L_1 < d_1$; (2) $L_2 < d_4$, 则可完成离合器结合过程运动干涉校核。

本结构中 $d_1=18\text{ mm}$, $d_2=35.8\text{ mm}$, $d_3=72.3\text{ mm}$,

$d_4=23\text{ mm}$, $d_5=9\text{ mm}$, $\alpha=13^\circ$ 即可得

$$(1) L_1 = d_2 \cdot \tan \alpha + \frac{4}{\cos \alpha} = 35.8 \times 0.23 + 4.1 = 12.3\text{ mm} < d_1 = 18\text{ mm}, \text{ 即 } L_1 < d_1;$$

$$(2) L_2 < d_3 \times \tan 13^\circ + \frac{d_5}{2} = 72.3 \times 0.23 + 4.5 = 21.1\text{ mm} < d_4 = 23\text{ mm}, \text{ 即 } L_2 < d_4;$$

式中: O_1 ——1号钢球在初状态下的球心; O_2 ——传动沟槽的中心; O_1' ——2号钢球在初状态下的球心; d_1 ——离合盘工作沟槽内边缘到扭杆初始位置轴线的水平距离; d_2 ——离合盘工作沟槽下边缘至 2 号钢球球心的垂直距离; d_3 ——2 号钢球球心距永磁体下边缘的垂直距离; d_4 ——初始状态下,扭杆轴线至离合盘内断面的水平距离; d_5 ——永磁铁下端长度; L_1 ——扭杆组件摆到最终位置时,扭杆轴心距扭杆组件初始位置时扭杆轴线的水平距离; L_2 ——扭杆组件摆到最终位置时,永磁铁最左端距扭杆组件初始位置时扭杆轴线的水平距离。

综上可得,杆组件未与离合盘内边缘发生运动干涉现象;扭杆组件下端的永磁铁也未与电磁线圈发生运动干涉现象。

7 结语

为了实现新型电磁扭杆离合器中扭杆组件传递动力的要求,根据传动沟槽的工作方式、承载形式,对传动沟槽的截面形状、接触角度和尺寸进行了设计,然后对所设计的传动沟槽进行运动校核计算,所得校核结果验证了所设计的传动沟槽运动可行性。利用该传动沟槽可以实现新型电磁扭杆离合器中扭杆组件传递动力的要求。

参考文献

- [1] 邓志革,黎修良,沈言锦.“中国制造 2025”背景下的汽车专业群建设方案研究[M].长沙:中南大学出版社,2016.
- [2] 贾翔.权威解读《节能与新能源汽车产业发展规划(2012-2020)》[J].汽车纵横,2012(8):14.
- [3] 杨柳絮.一种电动汽车电磁离合器及其控制器的设计[D].北京交通大学,2018.
- [4] 张景然.采用力控制方法加工微沟槽结构的实验研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
- [5] 卢曦;石松;朱卓选.电磁扭杆离合器离合盘工作沟槽结构及设计方法[P].中国专利:CN110307270A,2019-10-08.
- [6] 古玉锋,赵稳庄,方宗德.非独立悬架与转向传动机构运动干涉分析方法研究[J].机械设计,2009,26(12):52-54.

作者简介 邵长敬(1993—),男,硕士研究生,研究方向:汽车零件设计及其理论。E-mail: changjing_shao@163.com

卢曦(1968—),男,博士,教授,博士生导师,研究方向:机械结构强度学、旋锻净成形理论和技术。获上海技术发明奖 1 次,科技进步奖 1 次,授权国家发明专利 17 项。