

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.04.004

基于 ADAMS 的牙嵌式离合器结合特性研究*

范工兴, 杨化林*

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:针对牙嵌式离合器的主从动件在接合时相对位置的不确定性问题,把离合器在接合时的情况分成:可以直接结合和需要转速差才能结合两种情况。针对需要转速差才能结合的情况,又按照转速差的不同,对不同转速差时的接合过程进行了详细分析,确定了各种情况下主、从动件能否顺利接合,以及顺利接合允许转速差范围。并借助虚拟仿真软件 ADAMS 对离合器的结合过程进行了仿真,提取了仿真结果并进行了分析。研究结果表明,转速差的值对离合器的结合时间和结合时冲击力大小有明显影响,同时得出了影响主、从动件结合的主要参数及规律。

关键词:牙嵌式离合器;结合特性;虚拟仿真;ADAMS

中图分类号:TH133.4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)04-0340-06

Characteristics of tooth embedded clutch based on ADAMS

FAN Gong-xing, YANG Hua-lin

(College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Aiming at the uncertainty of the relative position of the master and slave of the tooth embedded clutch, the clutch was divided into two parts: the case can be directly combined with the rotating speed difference to combine the two conditions. The need for speed difference according to the situation, and in accordance with the speed difference of different speed difference when the engagement process was analyzed in detail, the various conditions of follower smooth engagement, and smooth joint allows the speed difference range. With the aid of the virtual simulation software ADAMS, the simulation of the clutch was carried out, and the simulation results were extracted and analyzed. The results indicate that the value of the rotational speed difference has a significant influence on the combination time of the clutch and the impact force of the combination, and the main parameters and rules of the combination of the main and the main components are obtained.

Key words: jaw clutch; binding characteristics; virtual simulation; ADAMS

0 引 言

牙嵌式离合器是机械传动中的常用部件,可将传动系统随时分离或接合。牙嵌式离合器常用的牙型有矩形、梯形、锯齿形和三角形四种基本类型,根据需要应用于不同的场合^[1]。目前,牙嵌式离合器的设计在国内已经标准化^[2-5],但是因为结构原因,牙嵌式离合器的结合过程对转速差有严格要求。通常情况下,转

速差太小会影响离合器的结合时间,转速差太大会使离合器牙齿受到较大冲击,对离合器造成损伤,甚至导致离合器不能结合^[6-9]。因此,要使牙嵌式离合器能够顺利安全地结合,需要对牙嵌式离合器的结合特性进行研究,找出影响主从动件结合的主要参数及影响规律,确定转速差变化对离合器结合时间和冲击力的影响规律。

本研究以无级变速器中的牙嵌式离合器为模型,对无级变速器中的牙嵌式离合器的结合过程进行分

收稿日期:2016-09-27

基金项目:山东省博士后创新基金资助项目(201202005)

作者简介:范工兴(1989-),男,山东潍坊人,硕士研究生,主要从事机械设计方面的研究. E-mail:923088375@qq.com

通信联系人:杨化林,男,副教授,硕士生导师. E-mail:573070404@qq.com

析,并借助虚拟仿真软件 ADAMS,对牙嵌式离合器的动态结合过程进行仿真,以更加科学的方法对离合器的结合特性进行研究。

1 离合器结合特性理论研究

无级变速器的结构简图^[10]如图1所示。

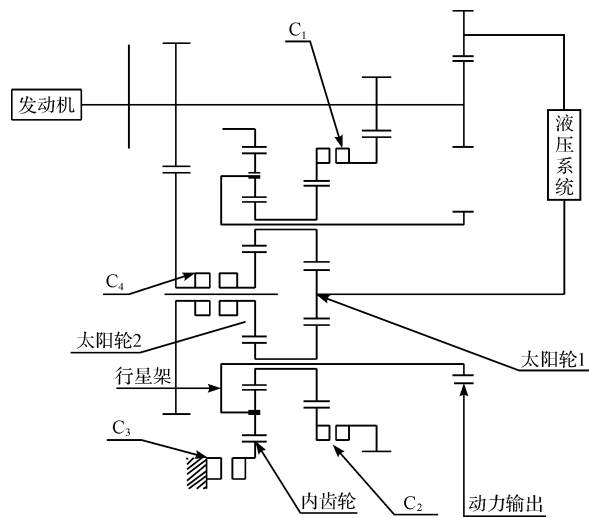


图1 无级变速器结构简图
C₁(C₂), C₃, C₄—3个矩形牙嵌式离合器

图1中控制系统通过控制3个离合器的结合与断开实现无级变速器的无级变速功能。图1中发动机的动力同时传递给C₄离合器的主动盘和从动盘,输入给从动盘的动力经过了一套液压装置的变换,这样可以单独而精确的对从动盘的转速进行控制。离合器的主动盘在发动机带动下以某一固定转速 n_0 转动,要想从动盘能与之顺利结合,就要使从动盘的转速接近 n_0 时与主动盘进行结合,这样既可以保证主从动件的顺利结合,又减少牙齿的碰撞冲击。如果接合时因为相对位置的原因导致离合器在转速接近时不能结合,那么就需要研究不同转速差时离合器的接合规律。

主从动件的结合过程可分为两种情况,第一种情况如图2所示。

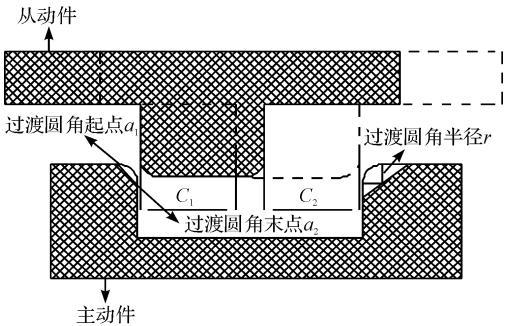


图2 主从动件结合的第一种情况

在第一种情况下,当从动件运动到主动件齿顶时,只要从动件的牙齿左端面落入C₁区间或牙齿的右端面落入C₂区间,传感器会检测到从动件齿顶不受阻力作用,此时由于主从动件转速相同,控制系统会使从动件保持转速 n_0 一段时间,确保从动件会继续向主动件齿槽中运动,当从动件的齿顶运动到主动件的过渡圆角末端 a_2 时,从动件的推力会瞬间增大,主从动件就一定能够完成结合,这种结合方式是最理想的状态。

因为从动件的齿顶从安装位置运动到主动件过渡圆角末点 a_2 的水平线上时,从动件一直与执行机构液压缸的活塞保持同步匀速运动,活塞运动速度的计算公式^[11]为:

$$q = Vn_p \tag{1}$$

$$v = \frac{q}{A} = V \frac{n_p}{A} \tag{2}$$

式中: q —液压缸的总流量, n_p —液压泵的转速, V —液压泵的排量, A —活塞有效面积, v —活塞的平行移动速度。

所以从动件的平行移动速度为 $v = Vn_p/A$ 。

因此,可以求得从动件到达主动件齿顶后需要保持转速 n_0 的时间 t 为:

$$t = \frac{r}{v} = \frac{r_A}{Vn_p} \tag{3}$$

式中: r —主动件的过渡圆弧的半径, v —从动件齿顶没有到达主动件过渡圆角末端时从动件的平行移动速度。

主从动件结合的第二种情况如图3所示。

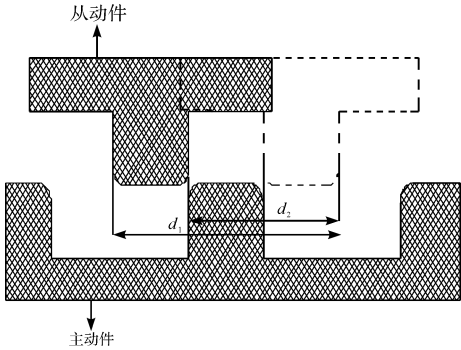


图3 主从动件结合的第二种情况

在第二种情况下,当从动件运动到主动件齿顶时,只要从动件左端面落入 d_1 区间或从动件右端面坐入 d_2 区间内,这时主从动件的齿顶将会接触碰撞从而阻碍从动件继续向主动件牙槽内运动,传感器会检测到从动件齿顶受到阻力作用,控制系统会马上改变从动件转速,使主从动件之间产生转速差,因为在这种情况下

下,需要主从动件间存在转速差^[12-15],才能使主从动件完成结合。

在进入第二种情况时,主从动件之间需要存在转

速差才能结合,主从动件在不同的转速差下结合时,存在以下 4 种可能,不同转速差下离合器结合过程示意图如图 4 所示。

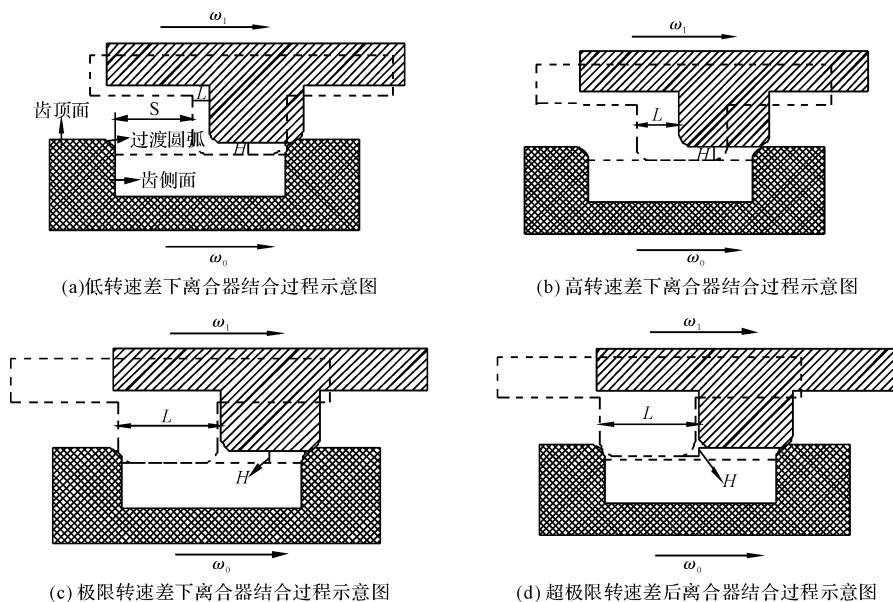


图 4 不同转速差下离合器结合过程示意图

当主从动件之间的转速差 $= n_0 - n_1$ 非常小时,从动件会沿着主动件的过渡圆弧缓慢滑入主动件齿槽,如图 4(a) 所示;

随着主从动件之间的转速差的增大,当主从动件齿顶脱离后,从动件将沿这抛物线落向主动件齿槽,在落入的过程中从动件不再与主动件的过渡圆弧接触,如图 4(b) 所示;

随着转速差的继续增大,在相同的时间里,从动件在水平方向的位移 L 不断增大,就会出现的情况如图 4(c) 所示,即从动件的齿顶刚好落到主动件的过渡圆弧末端 a_2 的水平线上时,主从动件的过渡圆弧末端恰好接触,此时从动件恰好可以沿着主动件牙侧面滑动进入主动件牙槽,实现结合;

当转速差再增大后,就会出现的情况如图 4(d) 所示,当主从动件齿顶脱离后,从动件沿抛物线落入主动件牙槽的过程中,从动件的过渡圆弧与主动件的过渡圆弧接触碰撞,从动件的齿顶还在主动件过渡圆弧末端 a_2 的水平线上方,此时,因为转速差产生的切向分量大于从动件受到的液压推力,从动件会沿着过渡圆弧滑出主动件牙槽,不能结合。

分析第 2 种情况下的 4 种可能情况后发现,当主从动件的尺寸参数、从动件受到的液压力确定后,本研究可以确定主从动件顺利接合允许转速差范围。根据前面的分析,主从动件能够结合的最大转速差条件如图

4(c) 所示,即从动件在液压推力作用下,竖直方向匀速运动 H 的过程中,从动件在水平方向转过的圆心角要小于 L 对应的圆心角,则有:

$$n t 2\pi / 60 \leq L / R \quad (4)$$

$$n \leq \frac{30L}{t\pi R} \quad (5)$$

式中: n —牙嵌式离合器能够结合所允许的最大转速差, $r/\min$; t —从动件沿竖直方向匀速运动 H ($H = r$, r —过渡圆弧的半径) 所需的时间, $\min$; L —在时间 t 内从动件转过的弧长所对应的弦长, m ; R —主从动件的半径, m 。

根据前面的分析,将式(3)代入式(5)可得,主从动件顺利结合所需的转速差范围为:

$$0 < n \leq \frac{30LVn_p}{\pi rRA} \quad (6)$$

从上式中可以看出,影响主从动件结合转速差的主要因素来自:主从动件外观尺寸中的过渡圆角半径、牙槽宽度;操纵系统中的液压泵的转速、液压泵的排量、液压缸的有效面积等,这些因素实质上影响了主动件的水平移动速度。

2 离合器的模拟仿真与分析

为了更好地对离合器的结合特性进行研究,本研究借用虚拟样机分析软件 ADASMS,建立如下离合器的虚拟样机模型,对离合器的结合过程进行如下仿真模拟:

(1)建立离合器虚拟样机仿真模型,添加运动副以及驱动后如图5所示。

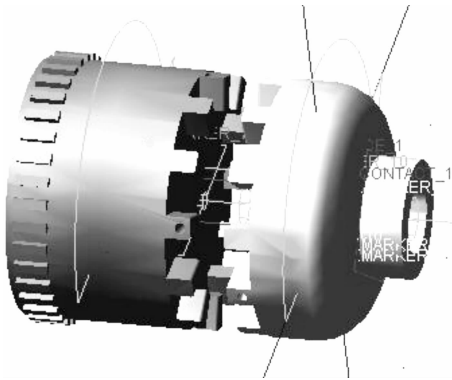
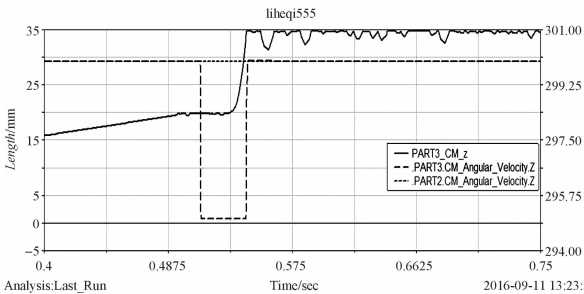
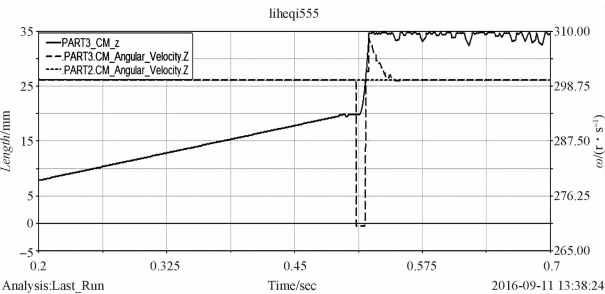


图5 离合器虚拟样机仿真模型

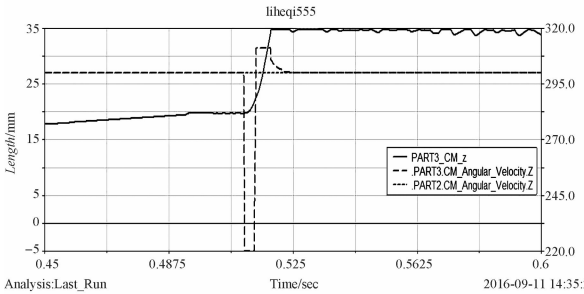
在图5中设定的主从动件的安装间距为5.5 mm,



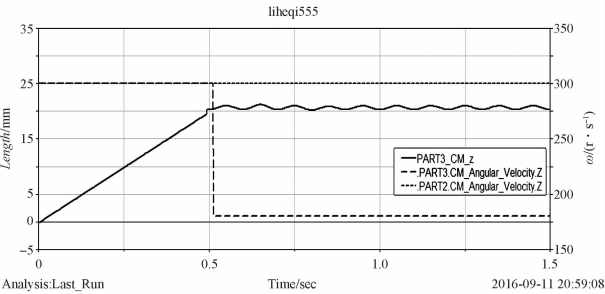
(a) 转速差为5 r/s的结合特性



(b) 转速差为30 r/s的结合特性



(c) 转速差为79.5 r/s的结合特性



(d) 转速差为90 r/s的结合特性

图6 不同转速差下离合器的结合特性

随着主从动件转速差的增大,当转速差 $\Delta n = 30 \text{ r/s}$ 时主从动件结合的仿真结果如图6(b)所示。从图中可以看出,在 $t = 0.5 \text{ s}$ 时从动件齿顶到达主动件齿顶,由于从动件牙齿没有落入可以直接结合区间,主从动件齿顶发生碰撞并沿轴向滑动摩擦,当 $t = 0.516 \text{ s}$ 时,从动件质心曲线 PART3_CM_z 的位移发生突变,从动件开始滑入主动件牙槽,随着从动件的滑入,当 $t = 0.519 \text{ s}$ 时,从动件转速曲线 PART3_CM_Angular_Velocity_Z 发生突变,从动件牙齿侧壁与主动件牙齿侧壁发生碰撞,通过从动件质心曲线 PART3_CM_z 可以看出此时从动件齿顶已经进入主动牙槽 7 mm,由于沿 z 轴操纵力的作用,从动件继续向主动件牙槽运动,在 $t = 0.522 \text{ s}$ 时,从动件质心曲线

主从动件牙槽深度为15 mm,主、从动件的过渡圆弧半径为1.5 mm,主动件的水平运动速度 11 mm/s。

(2)对离合器虚拟样机进行仿真分析,设置仿真时间为 $\text{time} = 1.5 \text{ s}$,仿真步数 $\text{steps} = 300$ 。对仿真结果进行如下提取与分析:

当主从动件转速差为 5 r/s 时的仿真结果如图6(a)所示。从图中可知,在 $t = 0.5 \text{ s}$ 时从动件齿顶到达主动件齿顶,由于从动件牙齿没有落入可以直接结合区间,主从动件齿顶发生碰撞并沿轴向滑动摩擦,当 $t = 0.53 \text{ s}$ 时,从动件质心曲线 PART3_CM_z 发生突变,说明从动件开始滑入主动件牙槽;当 $t = 0.542 \text{ s}$ 时,曲线 PART3_CM_z 的值达到 35 mm,且从动件转速曲线 PART3_CM_Angular_Velocity_Z 发生突变都说明从动件齿顶到达主动件牙槽根部完成结合。

PART3_CM_z 的值达到 35 mm 主从动件完成结合。

随着转速差的继续增大,当转速差达到 $\Delta n = 79.5 \text{ r/s}$ 时主从动件结合的仿真结果如图6(c)所示。从图中可以看出,在 $t = 0.5 \text{ s}$ 时从动件齿顶到达主动件齿顶,由于从动件牙齿没有落入可以直接结合区间,主从动件齿顶发生碰撞并沿轴向滑动摩擦,当 $t = 0.512 \text{ s}$ 时,从动件开始滑入主动件牙槽,在 $t = 0.513 \text{ s}$ 时,从动件质心曲线 PART3_CM_z 的值为 21.51 mm,从动件转速曲线 PART3_CM_Angular_Velocity_Z 发生突变,说明从动件齿顶与主动件的过渡圆角末端发生碰撞,当 $t = 0.518 \text{ s}$ 时,从动件质心曲线 PART3_CM_z 的值达到 35 mm,主从动件完成结合。

当转速差为 $\Delta n = 90 \text{ r/s}$ 时主从动件结合的仿真结果如图 6(d) 所示。从仿真结果中可以看出, 在 $t = 0.5 \text{ s}$ 时, 从动件齿顶达到主动件齿顶, 接下来从动件齿顶一直与主动件齿顶发生碰撞和摩擦, 并且从动件齿顶一直在不断的撞击主动件的过渡圆弧然后在力矩作用下沿着过渡圆弧滑出而不能结合(通过从动件质心曲线 PART3_CM_z 的值在区间 $[19.5, 21.3]$ 沿波浪线有规律的变动可以看出)。

从图 6 的仿真结果可以看出, 随着转速差的不断增大, 离合器完成结合所需的时间在缩短, 但是随着转速差的不断增大, 转速差超过某个极限值后, 离合器将不能完成结合。通过观察从动件的转速曲线 PART3_CM_Angular_Velocity_Z 的变化情况, 发现随着转速差的增大, 主从动件的接触碰撞力在增大。为了更加清楚地研究转速差与碰撞力的关系, 提取了转速差与碰撞力的关系曲线图如图 7 所示。

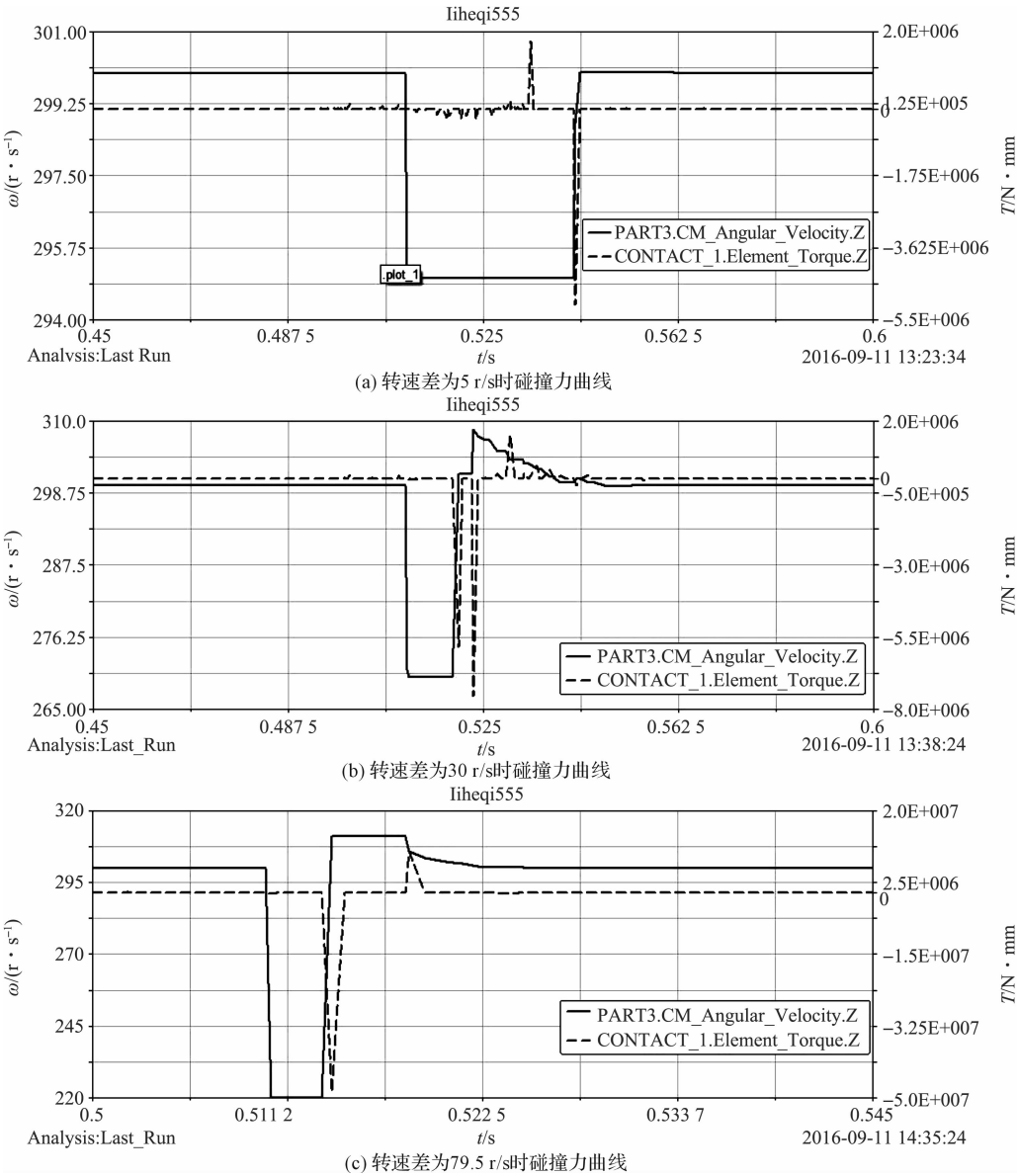


图 7 不同转速差下离合器碰撞力曲线图

不同转速差下结合时, 主从动件牙齿的碰撞力曲线图如图 7 所示, 从图 7(a) 中可以看出结合时的最大碰撞力 $\text{MAX} = 4.725\text{e}6 \text{ N}$, 从图 7(b) 中可以看出结合时的最大碰撞力 $\text{MAX} = 7.917\text{e}6 \text{ N}$, 从图 7(c) 中可以看出结合时的最大碰撞力 $\text{MAX} = 4.823\text{e}7 \text{ N}$, 可以看出随着转速差的增大, 碰撞力在不断地增大。

为了进一步研究影响主从动件结合的主要参数及影响规律, 笔者通过仿真多组具有不同的过渡圆弧半径和水平移动速度值的离合器虚拟样机, 统计仿真结果后制成关系曲线如图 8 所示。

从图 8 可知, 在相同的活塞水平运动速度下, 随着过渡圆角半径的增大, 所允许的最大转速差在减

小;在相同的过渡圆角半径下,随着活塞水平运动速度的增加,所允许的最大转速差在增加;并且可以看出随着过渡圆角半径的不断增加,当过渡圆角半径大于 2 mm 后,过渡圆角半径对最大转速差的影响不再明显。

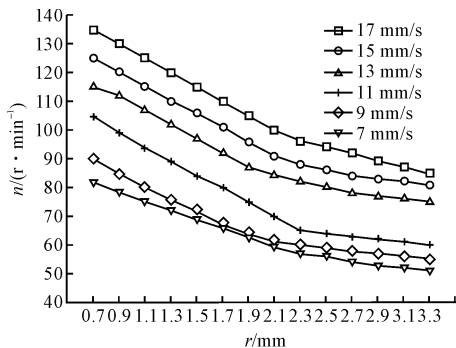


图8 过渡圆弧半径和液压缸活塞的水平运动速度对顺利结合允许最大转速差的影响

3 结束语

(1)随着转速差的增大,离合器完成结合需要的时间在不断减小,尽管数值上在成倍地减少,由于结合所需的最大时间小于 0.1 s,在应用中让牙嵌式离合器在低转速差下结合不会影响离合器的结合效率。

(2)对比图 6(a~c)和图 7(a~c)的仿真结果可见,随着转速差的增大,主从动件的碰撞力在不断增大,由于碰撞力作用,从动件出现了超速现象,说明结合时对离合器造成了很大的伤害;通过对比碰撞力曲线还发现,随着转速差由小变大过程中,碰撞力开始时缓慢的由 $MAX = 4.725e6$ N 增加到 $MAX = 7.917e6$ N,当转速差超过极限转速差的一半后,碰撞力开始急速的由 $MAX = 7.917e6$ N 增加到 $MAX = 4.823e7$ N,由此可知,让牙嵌式离合器在其极限转速差的一半范围内工作更加合理。可见,转速差对离合器碰撞力的影响规律对实际应用具有很强的指导意义。

(3)通过图 8 发现,主从动件的过渡圆弧半径和液压缸活塞的水平运动速度都是影响顺利结合允许的最大转速差的重要因素。当活塞水平运动速度不变时,随着过渡圆弧半径的增加会使顺利结合允许的最

大转速差逐步减小;当过渡圆角半径不变时,随着活塞水平运动速度的增加,所允许的最大转速差在增加。

参考文献(References):

- [1] 梁静,顾玲.牙嵌离合器的优化设计[J].机械设计与制造,2005(10):51-52.
- [2] 司爱国,梁德义,李虎子.基于 SolidWorks 二次开发的牙嵌式离合器参数化建模技术[J].机电工程,2014,31(10):1254-1257
- [3] 王霞.大型牙嵌式离合器的标准化、系列化设计[J].一重技术,2012,1(4):34-37.
- [4] 欧阳海中,谢方平,孙松林,等.梯形牙嵌式单轴离合器设计与研究[J].湖南农机,2009,36(1):15-17.
- [5] 陈科,宋毅.牙嵌式离合器参数的优化设计[J].机床与液压,2004,1(3):101-103.
- [6] 郭占正,张喆玉,张建峰,等.牙嵌式离合器差速特性研究[J].机械传动,2013,37(5):93-96.
- [7] 颜克志,方宗德,张国胜.汽车离合器结合过程中的稳定性分析研究[J].机械科学与技术,2007,26(5):616-618.
- [8] 胡芳芳,蒋庆磊,吴大转,等.内啮合齿式离合器轴向接合过程的冲击特性[J].浙江大学学报:工学版,2013,47(2):325-331.
- [9] 盛云,武宝林.齿轮传动中啮合冲击的计算分析[J].机械设计,2005,22(7):41-43.
- [10] 杨化林,巩康.液压机械混合动力无级变速箱转速特性分析[J].青岛科技大学学报,2015,36(6):665-666.
- [11] 许福玲,陈尧明.液压与气压传动[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [12] 徐国宝,马金凤,王延军,等.基于 ADAMS 的跌落式装箱机动力学仿真研究[J].包装与食品机械,2016(1):44-47.
- [13] 孙冬梅,王瑜,郭占正.正梯形牙嵌离合器接合与分离过程研究[J].机械传动,2015,39(7):167-175.
- [14] 张翔,幸振帆,张敏,等.离合器传扭性能研究及改进方向[J].机械,2015,43(12):22-25,70.
- [15] 孙冬梅,郭占正,黄敏,等.牙嵌式离合器的传动特性研究[J].矿山机械,2012,40(9):113-117.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

范工兴,杨化林.基于 ADAMS 的牙嵌式离合器结合特性研究[J].机电工程,2017,34(4):340-345.

FAN Gong-xing, YANG Hua-lin. Characteristics of tooth embedded clutch based on ADAMS[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(4):340-345.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>