

汽车同步器故障分析及设计参数的确定

□ 天津天海同步科技股份有限公司/刘洪岩

随着中国汽车产业的不断发展，家庭用车和商务用车的普及率不断提高，人们对汽车产品也经历了从陌生、一知半解到熟练掌握，再到追求高品质享受的过程。在国内市场追求与国际同步，国内用户眼光日渐挑剔的背景下，新《三包法》应运而生。作为汽车变速器核心部件，同步器的使用性能和寿命也越来越受到关注。因此有必要对同步器故障及原因分析做一次比较系统的总结。

同步器在变速器换挡过程中的作用概述如下：同步环受滑块传递的换挡力作用，其内锥面与锥体外锥面间产生摩擦力，使同步环相对齿套转过一个角度，齿套结合齿锁止面与同步环结合齿锁止面接触，产生一个正压力 N ，正压力 N 分解为轴向分力 S 和拨环力 T ，在分力 S 推动下，同步环和锥体之间角速度逐步一致，此时同步环转过一个角度，齿套通过同步环继续移动与同步锥结合齿结合，完成换挡。

曾经发生过的同步器故障有以下几种比较常见：

(1) 同步器脱挡。

(2) 同步器挂挡困难或无法挂挡，同步器挂挡时异响。

(3) 同步器挂挡时异响，同步环异常磨损或抱死烧蚀。

(4) 同步器部件断裂。

变速器换挡故障，其原因是多方面的，本文仅就同步器总成本身故障做出分析。同时由于目前最常用同步器为惯性锁环式同步器（见图1），所以本文仅以惯性锁环式同步器为例进行分析。常见惯性锁环式同步器分为单锥面同步器和双锥面同步器。



图1 锁环式同步器

同步器脱挡

同步器脱挡，是指同步器已经完成换挡的情况下，没有人为操作的前提下，同步器齿套自主地从同

步锥结合齿脱离回归空挡位置。因此在研究脱挡问题时只考虑同步器齿套倒锥面和结合齿倒锥面咬合出现问题。

具体原因可能是：

(1) 齿套或结合齿倒锥角度 α 过小，导致脱挡阻力变小。

(2) 由于总成轴向尺寸计算有误，齿套与结合齿倒锥面接触轴向长度过短，导致摩擦阻力变小。

(3) 倒锥面齿形倾斜偏差超出允许公差范围，导致两锥面只有齿顶或齿根接触，导致摩擦阻力变小（见图2）。

(4) 齿套与齿毂配合倾斜量过大，齿套偏斜，齿套与结合齿倒锥面之间形成线接触，导致摩擦阻力变小。

同步器挂挡困难，同步器挂挡



此处倒锥面齿根接触

图 2

时异响。

主要表现形式是换挡杆无法推到合适挡位，或大力推动才可到位，有时伴随有换挡杆的连续抖动。

分析原因有以下几方面：

(1) 齿套与齿毂配合倾斜量过大，导致齿套换挡过程中偏斜，齿套锁止角不能有效地起到锁止作用，导致挂挡困难，这种情况一般伴随换挡杆抖动现象。

(2) 同步器总成轴向尺寸链计算有误，导致同步环和结合齿未同步，齿套已经通过同步环，并与结合齿接触，导致无法换挡到位。这种情况一般伴随打齿现象。

(3) 齿毂滑块槽与同步环凸键之间间隙过小或过大。一般这个间隙设计成与齿套锁止角的厚度一致。如果设计有误，则可能出现齿套和同步环锁止角棱线“尖对尖”的接触，导致无法挂挡，同时伴随打齿。

(4) 同步环“抱死”造成无法挂挡，下文还会继续分析。

同步环异常磨损或抱死烧蚀

主要表现为同步器退挡后，同

步环与结合齿锥面不能脱离开，导致锥面间始终有摩擦力的作用，导致同步环的烧蚀或锥面异常磨损。

分析原因主要从以下几方面考虑：

(1) 同步器的安装空间是否适当，间隙过小会导致同步环锥面始终存在摩擦力，摩擦形成的大量热量导致同步环锥面烧结。

(2) 同步器内部的锥面加工误差，包括锥面圆度、直线度以及锥面跳动等，造成同步器齿环锥面异常磨损。

(3) 同步环锥面锥角选择是否合理，可能由于自锁，造成同步环抱死。防止锥环发生自锁的条件是： $\tan\alpha > \mu_s$ ，其中 α 为锥面角度， μ_s 为锥面静摩擦系数。一般单锥面同步器锥角推荐 $6^\circ \sim 7.5^\circ$ ，对双锥面同步器建议采用 $8^\circ \sim 8.5^\circ$ 。

(4) 同步环锥面油槽排油效果不理想，造成锥面散热情况不良，同样造成锥面烧蚀。

同步器部件断裂，同步器不能正常工作

主要表现为同步器齿套、齿

毂、同步环等发生断裂。原因可总结为以下几方面：

(1) 零部件材料选择有问题，材料性能达不到配合强度要求。

(2) 零部件热处理方式不合理，产品硬度达不到要求。

(3) 零部件局部结构设计不合理，如圆角设计或加工过小，产生应力集中。如图3所示齿毂断裂，就是因为空槽底部圆角过小导致花键疲劳断裂。



图 3

结语

通过上面同步器常见故障的几种表现形式及原因分析，目的是为了在以后的同步器设计和加工中注意避免发生故障的风险。附表总结了同步器设计、加工过程中需反复验算和高度注意的特性尺寸。

齿套	齿毂	同步环	同步锥
材质选择	材质选择	材质选择	材质选择
热处理选择	热处理选择	热处理选择	热处理选择
倒锥角度，倒锥面齿形	端面跳动	摩擦材料选择	外花键强度校核
滑块槽位置或位置度	外花键圆度、锥度	凸键宽度	外花键倒锥角度
拨叉槽位置或位置度	腹板厚度（强度校核）	锥面油槽宽度	锥面位置
总厚度	滑块槽宽度、位置度	锥面接触面积	锥面接触面积
锁止角角度	内花键端面厚度	锥面角度	锥面角度
与齿毂配合的倾斜量和自滑性	与齿套配合倾斜量、自滑性	锥面圆度、直线度、跳动	锥面圆度、直线度跳动
齿套内花键圆度、锥度	空槽大径	锥面位置	锥面表面粗糙度
拨叉槽端跳、径跳	总厚度	总厚度	总厚度