乘用车驱动桥总成装调优化方法

李鸿波，王乐，张小波，刘井泽，王丽涛
中国第一汽车股份有限公司研发总院　吉林长春　103311

摘要：驱动桥是乘用车传动系统的重要组成部分，起到降速、增扭、改变动力传递方向的作用。国内高端乘用车驱动桥总成产品一直由国外供应商供应，存在研发费用高、生产周期长、国外供货风险大等问题。因此突破关键核心技术，自主开发全新驱动桥总成，成为国内汽车行业的重要任务之一。由于驱动桥处于传动系末端，承受扭矩工况恶劣、复杂，需要同时满足疲劳耐久、NVH表现等诸多要求。随着客户要求的日益提高以及技术进步，乘用车品质要求日益严苛，如何在兼顾疲劳耐久寿命前提下，提升驱动桥装调精度，是驱动桥开发的重要考量因素， 也是提升整车NVH表现的关键因素之一。而国内缺少高端驱动桥总成装调经验，并且首次试制并需实现产品量产，缺少批量装配和检测设备、产品质量一致性保证也是难点，生产通过能力也存在瓶颈。为此公司通过攻克啮合印记装调卡脖子技术、“半自动+自动”双测试法，严格控制总成NVH品质、发明操作方法、工装设计与改进、装配验证及技术创新多措齐发，终于，成功突破乘用车驱动桥总成装配工艺难点，建立高端驱动桥总成装配能力，装配质量100%满足产品要求。

关键词：乘用车驱动桥；啮合印记；NVH品质；装调方法
DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.05.002

乘用车驱动桥装配关键参数，与S_1、S_2、S_3和S_4四处调整垫片（见图1）相关，其中：S_1为内轴承调整垫片，S_2为外轴承调整垫片，S_3为左轴承调整垫片，S_4为右轴承调整垫片。而涉及的调整垫片均为变量且相互影响，因此动态调整关系非常复杂，调整垫片理论计算公式中均含有修正系数且无参考数值，按零值处理后初选的调整垫片不正确。这就使啮合印记的装调难度大大增加，装调过程中没有各个参数之间的动态调整规律，整机装调少则十几遍多则二十几遍，劳动强度大、效率低且极易造成零件损伤，轻则更换零件重则整机报废，因此摸索分析出调整垫片与关键参数之

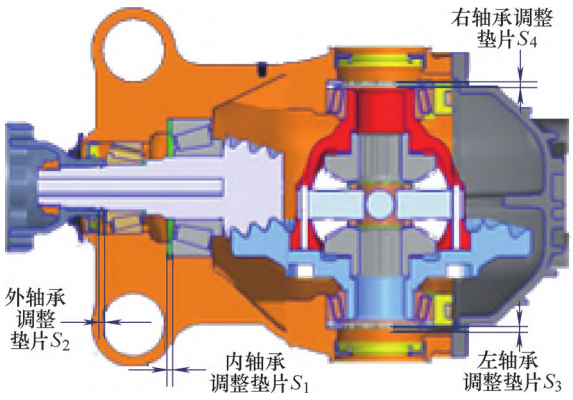

图1　高端驱动桥调整垫片分布

间的定量规律迫在眉睫。

定性+定量调整

突破关键性核心技术、总结出定性+定量的调整规律。目前市场上乘用车驱动桥装调，普遍采用从齿啮合印记偏大端时向主齿中心线方向靠近从齿，从齿啮合印记偏小端时向主齿中心线反方向移出从齿；从齿啮合印记偏向齿顶时向从齿中心线方向靠近主齿，从齿啮合印记偏齿根时向从齿中心线反方向移出主齿的方法，反复研磨主动锥齿轮和从动齿轮的啮合印记最终获得最佳啮合印记。此种方式工艺繁琐，操作复杂，劳动强度高。

有鉴于此，本文提出一种优化乘用车驱动桥主从动锥齿轮结构及啮合印记装调方法，以解决现有乘用车驱动桥装调工艺繁琐、操作复杂、劳动强度高的问题。

为实现上述目的，采用以下技术方案。乘用车主从动锥齿轮结构如图2所示，包括相互啮合的主动锥齿轮和从动齿轮，主动锥齿轮通过主动锥齿轮内轴承和主动锥齿轮外轴承固定在驱动桥前壳前端内，驱动桥前壳上设置有第一阶梯面、第二阶梯面和第三阶梯面，主动锥齿轮上设置有中间阶梯面，主动锥齿轮内轴承的外圈端面与第三阶梯面之间安装内轴承调整垫片，主动锥齿轮外轴承的内圈端面与中间阶梯面之间安装外轴承调整垫片，从动齿轮与差速器壳相连，差速器壳上压装有差速器右轴承和差速器左轴承，第一阶梯面与差速器左轴承之间安装有左轴承调整垫片，第二阶梯面与差速器右轴承之间安装有右轴承调整垫片。

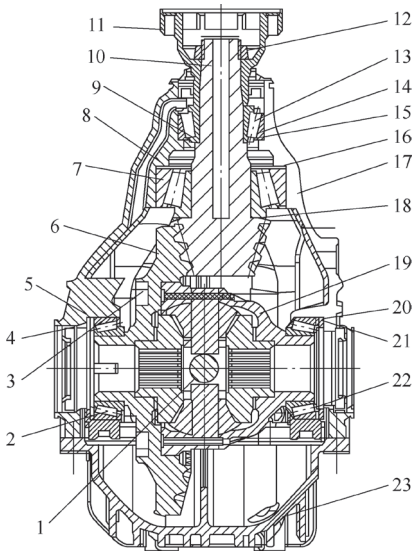

图2　驱动桥主从动锥齿轮结构示意

1—差速器总成　2—差速器左轴承　3—联接螺栓　4—第一阶梯面　5—左轴承调整垫片　6—从动齿轮　7—主动锥齿轮内轴承　8—内轴承调整垫片　9—中间阶梯面　10—主动锥齿轮　11—凸缘总成　12—凸缘螺母　13—主动锥齿轮外轴承　14—主动锥齿轮外轴承实际安装位置内端面　15—外轴承调整垫片　16—第三阶梯面　17—驱动桥前壳　18—主动锥齿轮锥齿上端面　19—差速器壳　20—右轴承调整垫片　21—第二阶梯面　22—差速器右轴承　23—后盖

同时，主动锥齿轮上安装有凸缘总成。装调过程中还涉及乘用车驱动桥主动锥齿轮轴承预紧调整方法，把选定厚度的内轴承调整垫片和主动锥齿轮内轴承的外圈压入驱动桥壳相应的孔内，并确保压配到位，把主动锥齿轮外轴承的外圈压入驱动桥壳相应的孔内，并确保压配到位；把主动锥齿轮内轴承的内圈及滚子总成压到主动锥齿轮的轴颈上，并确保压配到位，然后将选定厚度的外轴承调整垫片套在主动锥齿轮上；把主动锥齿轮合件装入驱动桥壳内，手动固定主动锥齿轮位置，再把主动锥齿轮外轴承的内圈及滚子总成压到主动锥齿轮的轴颈上，确保压配到位；把凸缘总成压到主动锥齿轮的花键上，用夹具固定主动锥齿轮，按扭矩要求拧紧凸缘螺母，并冲铆凸缘螺母锁边至主动锥齿轮相应槽内；在室温条件下，以一定的转速旋转主动锥齿轮，扭矩应在规定范围内，如果不满足要求，则选择适当厚度的外轴承调整垫片来调整主动锥齿轮轴承的预紧负荷。

驱动桥计算尺寸如图3所示。装调过程中还涉及一种乘用车驱动桥主从动锥齿轮啮合印记装调方法，在从动齿轮三等分的位置上测量齿侧间隙3次，3次测量值在一定范围内，变动量不大于规定数值；主动锥齿轮和从动齿轮的齿侧间隙调整好以后，用涂色法检验齿轮的啮合印痕，在从动齿轮三等分的位置上涂3处，每处正车面和反车面至少涂两个轮齿，指示剂厚度不大于规定值；测试要求主动锥齿轮一定转速，从动齿轮转矩一定，测试过程中从动齿轮至少旋转10圈，从动齿轮齿面的接触印痕应符合设定要求。调整接触印痕时若需要调整左轴承调整垫片和右轴承调整垫片的厚度，则需保证两侧加厚量和减薄量相等。

啮合印记装调方法是在通过四处调整垫片理论计

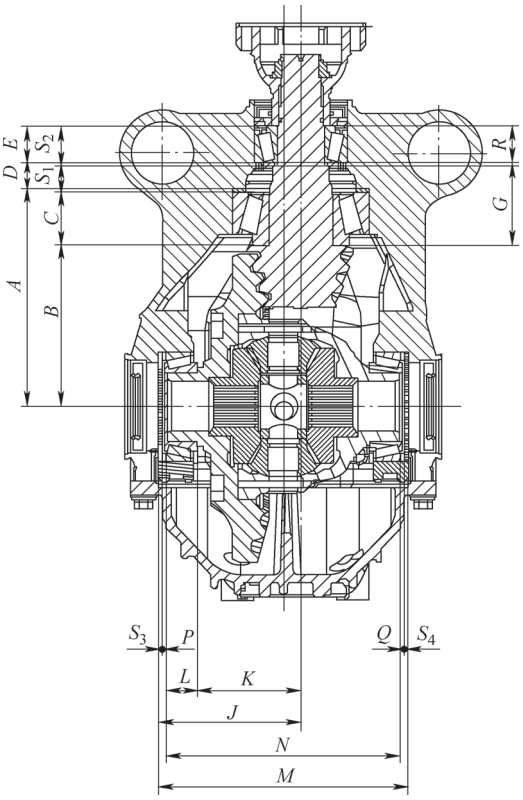

图3　驱动桥计算尺寸测量位置标注

算结合相应修正系数值、初选的调整垫片后，再对起动力矩、齿侧间隙、啮合印迹逐一进行调试和测量，最后用涂色研磨法检验确定主动锥齿轮和从动齿轮的啮合印痕，标准理想印痕如图4所示（装调过程还需结合主从齿加工完成后的原始研磨印痕）。在装调过程中三项关键参数之间相互影响，需通过反复调整垫片的厚度摸索出最佳位置关系。通过数据统计总结出

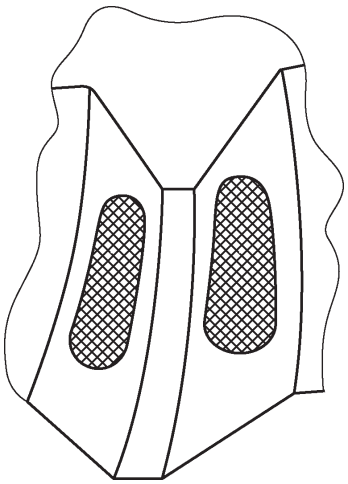

图4　啮合印记位置示意

一个定性加定量的装调规律，即在改变四处调整垫片厚度时，主齿起动力矩、从齿起动力矩和齿侧间隙的相应变化值，从而有效避免了原有主、从齿预紧力和啮合印记位置调整垫片反复选装的繁琐工艺，优化装调技艺及操作方法，突破高端驱动桥啮合印记装调工艺难点，达到了在满足使用性能的前提下提高生产效率、保证产品质量、降低操作者劳动强度的目的。

通过数据统计总结出一个定性加定量的装调规律，如图5所示。在进行初次主从齿啮合印记研磨后，

主动锥齿轮轴承预紧负荷(主动锥齿轮起动力矩)	偏小	减薄S_2
	偏大	加厚S_2
差速器轴承预紧负荷(从动推齿轮起动力矩)	偏小	加厚S_3或S_4
	偏大	减薄S_3或S_4

从动齿轮齿面印痕		调　整　方　法
向前行驶	向后行驶	
		将从动键齿轮主动锥齿轮移近，若此时齿隙过小，则将主动锥齿轮移开
		将从动锥齿轮自主动锥齿轮移开，若此时齿隙过大，则将主动锥齿轮移近
		将主动锥齿轮向动锥齿轮移近，若此时齿隙过小，则将从动锥齿轮移开
		将主动锥齿轮自从动锥齿轮移开，若此时齿隙过大，则将从动锥齿轮移近

S_2变动一挡	主齿起动力矩	1.5～2N·m
S_1变动一挡	齿侧间隙	0.01mm
S_3或S_4变动一挡	从齿起动拉力	5N
	齿侧间隙	0.02～0.03mm

图5　啮合印记调整方法规律

即可通过定量规律通过计算得出四处调整垫片的最优值。与之前装调方法相比大大提高了乘用车驱动桥的装调效率，降低操作人员反复装调的劳动强度，减少了主从动锥齿轮反复装调出现磕碰伤的风险，为后续同类驱动桥开发摸索出了更快捷的装调方法。

下面将结合实施例中的附图，对技术方案清楚、完整地阐述。

参见图2说明本实施方式。一种乘用车主从动锥齿轮结构，包括相互啮合的主动锥齿轮和从动齿轮，主动锥齿轮通过主动锥齿轮内轴承和主动锥齿轮外轴承固定在驱动桥前壳前端内，驱动桥前壳上设置有第一阶梯面、第二阶梯面和第三阶梯面，主动锥齿轮上设置有中间阶梯面，主动锥齿轮内轴承的外圈端面与第三阶梯面之间安装内轴承调整垫片，用来调节主动锥齿轮在驱动桥前壳内的进和出，主动锥齿轮外轴承的内圈端面与中间阶梯面之间安装外轴承调整垫片，主动锥齿轮上安装有凸缘总成，外轴承调整垫片与凸缘总成、凸缘螺母以及内轴承调整垫片共同实现主动锥齿轮的预紧力调节，从动齿轮利用联接螺栓与差速器壳刚性连接，差速器壳上压装有差速器右轴承，从动齿轮上压装有差速器左轴承，最后合成差速器总成，第一阶梯面与差速器左轴承之间安装有左轴承调整垫片，所述第二阶梯面与差速器右轴承之间安装有右轴承调整垫片，驱动桥前壳与后盖相连。

1.主动锥齿轮轴承预紧调整

本实施案例为一种乘用车驱动桥主动锥齿轮轴承预紧调整方法，包括以下步骤：

1）步骤1，把选定厚度的内轴承调整垫片和主动锥齿轮内轴承的外圈压入驱动桥壳相应的孔内，并确保压配到位，把主动锥齿轮外轴承的外圈压入驱动桥壳相应的孔内，并确保压配到位。

2）步骤2，把主动锥齿轮内轴承的内圈及滚子总成压到主动锥齿轮的轴颈上，并确保压配到位，然后将选定厚度的外轴承调整垫片套在主动锥齿轮上。

3）步骤3，把主动锥齿轮合件装入驱动桥壳内，手动固定主动锥齿轮位置，再把主动锥齿轮外轴承的内圈及滚子总成压到主动锥齿轮的轴颈上，确保压配到位。

4）步骤4，把凸缘总成压到主动锥齿轮的花键上，用夹具固定主动锥齿轮，按扭矩要求拧紧凸缘螺母，并冲铆凸缘螺母锁边至主动锥齿轮相应槽内。

5）步骤5，在室温条件下，以一定的转速旋转主动锥齿轮，扭矩应在规定范围内，如果不满足要求，则选择适当厚度的外轴承调整垫片来调整主动锥齿轮轴承的预紧负荷。

检测轴承预紧负荷应在轴承经过润滑并转动若干圈以后进行，整个检测过程中注意保证防尘罩与凸缘同轴。

乘用车驱动桥主动锥齿轮轴承预紧调整方法实施例中，测量图3中尺寸A、B、C、D、E、G和R，并计算内轴承调整垫片的厚度S_1和外轴承调整垫片的厚度S_2。

内轴承调整垫片厚度S_1的计算方式为

$$S_1=A-B-C+KS_1+OS_1 \quad (1)$$

式中 A——差速器总成实际安装后纵向中心到第三阶梯面的距离；

B——主动锥齿轮的实际安装距；

C——主动锥齿轮内轴承的装配高；

KS_1——工作温度100℃时驱动桥前壳的热膨胀量；

OS_1——修正系数。

本实施例中KS_1=0.050，修正系数OS_1通过CAE分析获得。

所述外轴承调整垫片厚度S_2的计算方式为

$$S_2=C+D+E+S_1-R-G+KS_2+OS_2 \quad (2)$$

式中 D——主动锥齿轮外轴承实际安装位置内端面安装距，即主动锥齿轮外轴承实际安装位置内端面到第三阶梯面之间的距离；

E——主动锥齿轮外轴承的装配高；

R——主动锥齿轮内轴承的内圈高；

G——主动锥齿轮锥齿上端面到中间阶梯面的距离，为过渡测量值；

KS_2——工作温度100℃时驱动桥前壳的热膨胀量；

OS_2——修正系数。

本实施例中KS_2=0.080，修正系数OS_2通过CAE分析获得。

2.主动差速器轴承预紧调整

本实施案例为一种乘用车驱动桥主动差速器轴承预紧调整方法，包括以下步骤：

1）步骤1，根据计算所得的左轴承调整垫片和右轴承调整垫片厚度采用临近原则选择调整垫片，并取规定垫片间隔厚度的整数倍。

2）步骤2，将差速器右轴承和差速器左轴承的轴承外圈，分别安装在已经装配好的差速器右轴承和差速器左轴承的轴承内圈上，分别安装上已经确定的右轴承调整垫片和左轴承调整垫片，再将差速器总成装入驱动桥壳体的相应位置。

3）步骤3，将选择的合适的左轴承调整垫片和右轴承调整垫片分别装入驱动桥壳内，注意左右不要装反。

4）步骤4，在室温条件下，以一定的转速旋转主动锥齿轮，转矩应在规定范围内，如果不满足要求，则选择适当厚度的调整垫片来调整差速器轴承的预紧负荷。

检测轴承预紧负荷应在轴承经过润滑并转动若干圈以后进行。

乘用车驱动桥主动差速器轴承预紧调整方法实施例中，测量图3所示尺寸J、K、E、P、M和Q，并计算左轴承调整垫片的厚度S_3和右轴承调整垫片的厚度S_4。

左轴承调整垫片厚度S_3的计算公式为

$$S_3=J-K-L-P+KS_3+OS_3 \quad (3)$$

式中 J——差速器总成实际安装横向中心安装距，即差速器总成实际安装横向中心到第一阶梯面的距离；

K——从动齿轮实际安装距；

E——差速器左轴承的装配高；

P——左轴承调整垫片实测值；

KS_3——装调值；

OS_3——修正系数。

装调值KS_3为产品试制阶段反复装调得出的，本实施例中所述装调值KS_3为0.03mm，修正系数OS_3通过CAE分析获得。

右轴承调整垫片厚度S_4的计算公式为

$$S_4=M-N-P-Q-S_3+KS_4+OS_4 \quad (4)$$

式中 M——差速器总成安装距，即第一阶梯面到第二阶梯面的距离；

Q——右轴承调整垫片实测值；

KS_4——装调值；

OS_4——修正系数。

装调值KS_4为产品试制阶段反复装调得出的，本实施例中所述装调值KS_4为0.03mm，修正系数OS_4通过CAE分析获得。

3. 主从动锥齿轮啮合印记装调

本实施案例为一种乘用车驱动桥主从动锥齿轮啮合印记装调方法，包括以下步骤：

1）步骤1，在从动齿轮三等分的位置上测量齿侧间隙3次，3次测量值在一定范围内，变动量不大于规定数值。

2）步骤2，主动锥齿轮和从动齿轮的齿侧间隙调整好以后，用涂色法检验齿轮的啮合印痕，在从动齿轮三等分的位置上涂3处，每处正车面和反车面至少涂两个轮齿，指示剂厚度不大于规定值。

3）步骤3，测试要求主动锥齿轮一定转速，从动齿轮转矩一定，测试过程中从动齿轮至少旋转3圈，从动齿轮齿面的接触印痕应符合图4所示的设定要求。如不符合则参照图5所示的方法进行调整，直至符合要求为止。此时的检验是不加润滑油的，为了避免磨损和卡住，检验延续时间不应超过一定时长。

步骤3中调整接触印痕时若需要调整左轴承调整垫片和右轴承调整垫片的厚度，则需保证两侧加厚量和减薄量相等，调整过程中轴承盖联接螺栓采用工艺螺栓，不涂胶，扭矩符合参考值。

装配机构设计

设计制作乘用车差速器总成的装配机构，解决差速器从动齿轮连接螺栓加载困难的问题。如图6所示，

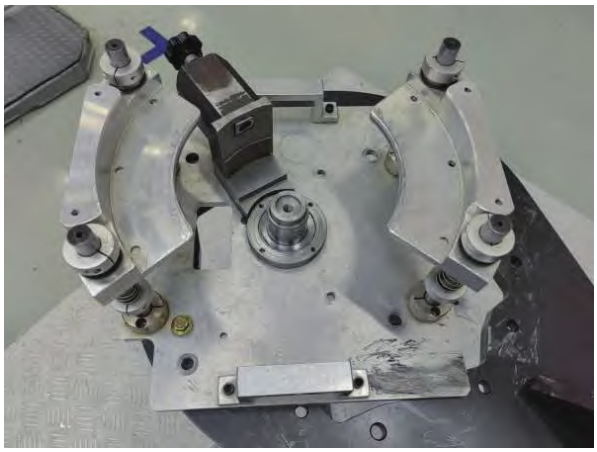

图6 差速器总成装配机构

乘用车差速器总成的装配机构，轻便易搬运，操作简洁，定位准确，具有足够的强度，解决差速器从动齿轮联接螺栓加载困难问题的同时，还可保证一次装夹即可完成整个差速器总成的成品装配，效率高，稳定性好，同时还保证产品一致性，既适用于试制小批量生产，又可应用 于批量生产。

撞捶式拆装工具设计

设计制作撞捶式拆装工具，解决垫片材料怼挤形成高点，差速器出现假预紧问题。高端驱动桥装调过程中，差速器两端轴承预紧力调整垫片设计过盈量为0.1mm≤$d-D$≤0.2mm，过盈量较大装配困难，由于壳体为铸铁材料，加热装配效果不明显（且不合理）直接压力装配产生调整垫片与固定垫片互啃现象，掉屑影响清洁度，同时垫片材料怼挤形成高点，导致差速器出现假预紧问题。经过认真分析装配结构特点，设计制作撞捶式拆装工具， 采用连续轻微间接冲击操作方法，有效减少掉屑及怼挤问题发生，同时提出将垫片锐角倒角改为圆弧倒角等结构改进建议，持续优化总成装配质量。

装配后总成啮合印记及 NVH 采用“半自动+自动”双测试方法严格控制总成品质

如图7所示，驱动桥装配调整完成后，合装后盖前，利用改制后的充电扳手利用半自动方式，对主从动齿轮进行正车和反车各3min研磨，最终确认啮合印记与主从齿啮合印记的契合度，确认达到95%后方可合装后盖。后盖合装完成后利用自主设计制造的下线检测设备，通过噪声传感器自动识别方式对NVH指标进行确认，噪声在70dB内方可交付。在严格的质量控制下， 最终实现了交付总成合格率100%。同时建立总成装配记录完整，一机一档，实现总成质量问题可追溯。

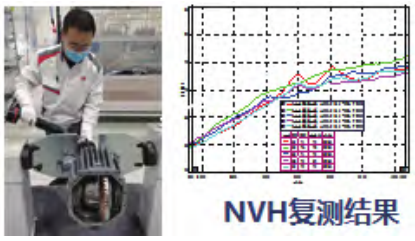

图7 “半自动+自动”双测试方法

结语

本文通过高端乘用车驱动桥总成制造技术及应用的研究，建立自主驱动桥总成的工艺技术体系，具备了高端驱动桥总成小批量生产质量保证能力，为乘用车驱动桥的产品研发和生产提供了关键技术支持，技术成果处于国内领先水平。行业内目前驱动桥产品一般为与国外公司联合开发，核心技术由外方主导，为满足自主超豪华车对动力总成需求，以“产品质量第一”“关键核心技术自主掌控”“零部件资源安全保障”三个方面为总体目标，开发中国第一、世界领先的乘用车驱动桥产品，实现自主创新，掌控产品开发和工艺制造的关键核心技术，满足高端车型的需求。此项目针对总成装配技术进行深入研究，有效提高总成装配质量。达到国内领先水平。

参考文献：

[1] 姚为民.汽车构造（下册）[M].7版.北京：人民交通出版社，2021.

[2] 余志生.汽车理论[M].6版. 北京：机械工业出版社，2009.

[3] 刘惟信.汽车车桥设计[M].北京：清华大学出版社，2006.

[4] 汤姆·伯奇.汽车手动传动系与驱动桥[M].北京：中国劳动社会保障出版社，2006.