

# 团体标准

T/CSAE xx—20xx

## 电动汽车用减速器总成传递误差 试验方法

Transmission error test methods of reduction gearbox for electric vehicles

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中国汽车工程学会 发布

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

中国汽车工程学会2341

工程学会2341

工程学会2341

工程学会2341

目 录

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 试验方法 ..... 2

    4.1 基本要求 ..... 2

    4.2 试验仪器 ..... 2

    4.3 样机改制 ..... 3

    4.4 试验要求 ..... 3

    4.5 传递误差试验 ..... 4

5 试验报告 ..... 6

    5.1 记录内容 ..... 6

    5.2 传递误差数据 ..... 7

附录 A ..... 8

附录 B ..... 10

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国汽车工程学会电动汽车产业技术创新联盟提出。

本文件起草单位：中汽研新能源汽车检验中心（天津）有限公司，重庆理工大学，（待补充）

本文件主要起草人：邱子桢，郭栋，黎洪林，（待补充）

# 电动汽车用减速器总成传递误差试验方法

## 1 范围

本文件规定了电动汽车用减速器总成传递误差测量方法的试验方法与试验报告等要求。

本文件适用于平行轴齿轮二级减速器总成（以下简称减速器样机），对于同轴减速器、行星齿轮减速器、多级减速器等其他类似结构和部件可参考使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 18488-2024 电动汽车用驱动电机系统

GB/T 10095.1-2022 圆柱齿轮 ISO 齿面公差分级制第1部分：齿面偏差的定义和允许值

QC/T 1022 纯电动乘用车用减速器总成技术条件

## 3 术语和定义

GB/T 18488-2024、QC/T 1022 中界定的及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 传递误差 **transmission error**

描述齿轮传动不平稳性的参数。在减速器中指齿轮副实际啮合位置与理论啮合位置的差值。

### 3.2 静态传递误差 **static transmission error**

齿轮在设计、制造加工、受载变形等因素综合影响下表现出的传递误差。

### 3.3 动态传递误差 **dynamic transmission error**

除受静态传递误差影响因素外，齿轮受转速影响导致动态啮合刚度发生变化，表现出的传递误差。

### 3.4 追逐齿周期 **hunting tooth cycle**

啮合齿轮副中的两颗齿从第一次啮合开始到第二次重新啮合所经过的齿数周期，计算方法为啮合的齿轮副齿数的最小公倍数。

### 3.5 角度域传递误差 **angle-domain transmission error**

以基准端旋转圈数或啮合过齿数为横坐标，传递误差幅值为纵坐标绘制的传递误差曲线图。

### 3.6 阶次域传递误差 **order-domain transmission error**

以基准端旋转频率为基准的阶次为横坐标，传递误差幅值为纵坐标绘制的传递误差曲线图。

## 4 试验方法

### 4.1 基本要求

#### 4.1.1 一般要求

4.1.1.1 减速器样机的基本要求等应符合 QC/T 1022-2015 中的 5.1.2、5.1.3、5.1.4、5.1.5 所规定的要求。

4.1.1.2 减速器样机的动态密封性能、温升性能、清洁度等应符合 QC/T 1022 中所规定的要求。

#### 4.1.2 试验类型

4.1.2.1 试验类型参照表 1 和产品技术文件选定。

4.1.2.2 试验类型确定后选择对应的减速器样机改制方法，改制方法参照 4.3。

4.1.2.3 差速器改制方法参照附录 B 图 B.4。

表 1 试验类型

试验类型	适用对象	减速器样机改制
动态传递误差	第一级齿轮副	附录B 图B.1
	第二级齿轮副	附录B 图B.2
	两级传动齿轮副	附录B 图B.3
静态传递误差	两级传动齿轮副	无改制

### 4.2 试验仪器

#### 4.2.1 仪器准确度

除满足 GB/T 18488-2024 中的 6.1.2.1 规定和要求外，需满足表 2 及表 3 的要求。

表 2 传感器准确度要求

项号	试验仪器	准确度或误差
1	输入轴动态传递误差角度传感器	$\pm 100''$
2	输入轴静态传递误差角度传感器	$\pm 10''$
3	中间轴动态传递误差角度传感器	$\pm 100''$
4	输出轴动态/静态传递误差角度传感器	$\pm 10''$

表 3 采集装置技术要求

项号	试验仪器	技术要求
1	采样速率	$\geq 30000$ Hz
2	传感器细分倍数	$\geq 4$ 倍

### 4.3 样机改制

#### 4.3.1 样机改制要求

4.3.1.1 改制后，减速器样机功能、性能正常，与实际使用状态保持一致；

4.3.1.2 减速器样机改制不改变原有的冷却润滑方案。

#### 4.3.2 动态传递误差改制要求

4.3.2.1 第一级齿轮副动态传递误差测试：在输入轴、中间轴轴承孔端面开孔，开孔尺寸宜大于输入轴、中间轴内孔尺寸，便于输入轴、中间轴动态传递误差角度传感器延长工装与输入轴、中间轴内孔配合，固定方式包括但不限于胶粘、胀紧等，改制示意图见附录 B 图 B.1。

4.3.2.2 第二级齿轮副动态传递误差测试：在中间轴轴承孔端面开孔，开孔尺寸宜大于中间轴内孔尺寸，便于中间轴动态传递误差角度传感器延长工装与中间轴内孔配合，固定方式包括但不限于胶粘、胀紧等，改制示意图见附录 B 图 B.2。

4.3.2.3 两级传动齿轮副动态传递误差测试：在输入轴轴承孔端面开孔，开孔尺寸宜大于输入轴内孔尺寸，便于输入轴动态传递误差角度传感器延长工装与输入轴内孔配合，固定方式包括但不限于胶粘、胀紧等，改制示意图见附录 B 图 B.3。

#### 4.3.3 静态传递误差改制要求

两级传动齿轮副静态传递误差测试：通过焊接或其他方式锁止差速器，使差速器在测试过程中不工作，保持单边加载状态，改制示意图见附录 B 图 B.4。

### 4.4 试验要求

#### 4.4.1 试验台架要求

4.4.1.1 双电机试验台架：减速器样机未改制的传递误差试验，推荐在双电机试验台架上开展。输出轴与加载测功机连接，由加载测功机提供负载。

4.4.1.2 三电机试验台架：减速器样机改制后的传递误差试验，推荐在三电机试验台架上开展。减速器输入轴与驱动测功机连接，由驱动测功机提供驱动力；减速器样机输出轴两端分别与两端加载测功机连接，由两端加载测功机同时提供负载。

##### 4.4.1.3 其他要求：

- 试验台架扭矩控制范围应覆盖减速器样机最大输入扭矩范围；
- 扭矩、转速方向以整车向前行驶工况为参照；
- 台架动力传动路径上不应存在其他齿轮传动结构，如减速箱，升速箱等；
- 试验过程中正拖工况为正转、正扭矩，反拖工况为正转、负扭矩；
- 台架转速控制精度 $\leq \pm 1\text{r/min}$ ，扭矩控制精度 $\leq \pm 1\text{N}\cdot\text{m}$ ；
- 建议在以下环境条件下进行试验：温度保持在 18~28℃之间，相对湿度处于 10~90%范围内；
- 台架法兰处连接处端面跳动量和径向跳动量，应满足产品技术文件要求。

#### 4.4.2 线束

4.4.2.1 采集装置、试验传感器应接地良好。

4.4.2.2 信号线、电源线应无破损、缠绕、堆叠。

4.4.2.3 高压线束、测试系统线束与传感器线束单独接地或接屏蔽层。屏蔽处理后需检查屏蔽效果，观察采集信号是否异常，如存在信号波动，需重新检查接地、抗屏蔽措施，直至消除信号干扰。

#### 4.4.3 安装要求

4.4.3.1 传感器的安装调试方法参照传感器使用说明书要求。

4.4.3.2 传感器工装安装参照 4.3.1 样机改制要求。

4.4.3.3 减速器样机安装要求参照减速器样机在整车上的安装要求，或符合产品技术文件要求。

#### 4.4.4 试验前检查

4.4.4.1 运转件无干涉、卡滞、异响、磕碰。

4.4.4.2 箱体连接处、轴孔密封处无明显接缝、无漏液。

4.4.4.3 减速器样机壳体表面无异常凹陷、凸起、裂纹等；

4.4.4.4 冷却介质应充足。

#### 4.4.5 冷却

参照减速器样机产品技术文件要求进行冷却。

#### 4.4.6 磨合

4.4.6.1 正式试验开始前应进行磨合，磨合工况推荐参照表 4

4.4.6.2 磨合后检查减速器样机是否存在漏油、壳体明显变形、产生裂纹等问题。

表 4 磨合推荐测试工况

序号	输入试验转速 (r/min)	输入试验扭矩 (N·m)	驱动模式	试验时长 (min)	备注
1	2000 ~ 3000	被试减速器样机额定扭矩	正转正扭矩	≥10	差速器改制时加载 扭矩应减半
2	2000 ~ 3000	被试减速器样机额定扭矩	正转负扭矩		

#### 4.5 传递误差试验

##### 4.5.1 动态传递误差试验

4.5.1.1 将减速器样机、试验传感器和采集装置按 4.4.3 所规定的要求安装。

4.5.1.2 加注润滑油，按 4.4.6 所规定的要求进行磨合，磨合后更换油液，以空载运行 3~5min 的方式进行清洗。

4.5.1.3 按输入端 9000r/min、±15%减速器样机最大扭矩试验工况进行预试验，待试验台架转速、扭矩稳定后试采集数据，原则上采样率  $f_s$  的设置按公式 (1) 计算，检查数据是否正常。

$$f_s \geq f_{GMF} \times 2.56 \quad (1)$$

式中：

$f_{GMF}$  —— 齿轮啮合频率。

4.5.1.4 动态传递误差试验分为空载、低速低扭、低速高扭和高速低扭工况，按表 5 规定的旋转方向、输入转速、扭矩工况控制试验台架运转，待转速、扭矩稳定后采集 2~3 次传递误差试验数据。

4.5.1.5 所有试验完成后，检查各个工况下传递误差数据，按所测得的结果，根据 4.5.3 进行传递误差计算。



表5 动态传递误差试验推荐测试工况

工况	正转正驱动		正转反驱动		采集圈数 (r)
	输入转速 (r/min)	输入最大扭矩百分比 (%)	输入转速 (r/min)	输入最大扭矩百分比 (%)	
空载	1000、2000、3000、 4000、5000、6000、 7000、8000、9000	0	1000、2000、3000、 4000、5000、6000、 7000、8000、9000	0	$\geq 3 \times T$
低速	1000、2000、3000、4000	+15 %	1000、2000、3000、4000	-15 %	
低扭	1000、2000、3000、4000	+30 %	1000、2000、3000、4000	-30 %	
低速	1000、2000、3000、4000	+50 %	1000、2000、3000、4000	-50 %	
高扭	1000、2000、3000、4000	+75 %	1000、2000、3000、4000	-75 %	
高速	5000、6000、7000、 8000、9000	+15 %	5000、6000、7000、 8000、9000	-15 %	
低扭	5000、6000、7000、 8000、9000	+30%	5000、6000、7000、 8000、9000	-30%	

注：1. 工况中扭矩百分比均为减速器样机最大输入扭矩的百分比；  
2.  $T$  为第一级齿轮的追逐齿周期；  
3.  $r$  为旋转圈数。

## 4.5.2 静态传递误差试验

4.5.2.1 将减速器样机、试验传感器和采集装置按 4.4.3 所规定的要求安装。

4.5.2.2 加注润滑油，按 4.4.6 所规定的要求进行磨合，磨合后更换油液，以空载运行 3~5min 的方式进行清洗。

4.5.2.3 按 100r/min、 $\pm 75\%$  减速器样机最大扭矩试验工况进行预试验，待试验台架转速、扭矩稳定后试采集数据，检查数据是否正常。

4.5.1.4 静态传递误差试验分为空载、低速高扭、低速低扭工况，按表 6 规定的旋转方向、输入转速、扭矩工况控制试验台架运转，待转速、扭矩稳定后采集 2~3 次传递误差试验数据。

4.5.2.5 所有试验完成后，检查各个工况下传递误差数据，按所测得的结果，根据 4.5.3 进行传递误差计算。

表6 静态传递误差试验推荐测试工况

工况	正转正驱动		正转反驱动		采集圈数 (r)
	输入转速 (r/min)	输入最大扭矩百分比 (%)	输入转速 (r/min)	输入最大扭矩百分比 (%)	
空载	100	0	100	0	≥3×T
低速高扭	100	+50 %	100	-50 %	
		+75 %		-75 %	
低速低扭		+10 %		-10 %	
		+30 %		-30 %	

### 4.5.3 传递误差计算

#### 4.5.3.1 传递误差幅值

以输入端齿轮为基准,按照公式(2)将传递误差计算,

$$TE_{angle} = \frac{\theta_p}{i} - \theta_g \quad (2)$$

式中:

$TE_{angle}$ ——角度差式传递误差,单位为度( $^{\circ}$ );

$\theta_p$ ——输入端主动齿轮角位移,单位为度( $^{\circ}$ );

$\theta_g$ ——输出端从动齿轮角位移,单位为度( $^{\circ}$ );

$i$ ——总传动比。

以输入端齿轮基圆半径为基准,按照公式(3)将传递误差计算,

$$TE_{disp} = (\theta_p - \theta_g \times i) \times R_p \times 1000 \times \frac{\pi}{180} \quad (3)$$

式中:

$TE_{disp}$ ——啮合线位移式传递误差,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$R_p$ ——输入端主动齿轮基圆半径,单位为毫米(mm);

#### 4.5.3.2 传递误差角度域曲线

按照4.5.3.1计算出的传递误差幅值和空间位置,形成数据曲线。

#### 4.5.3.3 传递误差阶次域曲线

对角度域传递误差曲线进行傅里叶变换,得到的以阶次和传递误差幅值,形成数据曲线。

#### 4.5.3.4 啮合误差谐波幅值

从传递误差阶次域曲线中提取的跟啮合阶次及其整数倍阶次相关的值, $n$ 倍啮合谐波幅值为阶次域曲线中 $O_n$ 对应的阶次幅值。

$$O_n = n \times Z_p \times O_{base} \quad (4)$$

式中:

$O_n$ ——第 $n$ 倍啮合阶次, $n=1,2,\dots$ ;

$O_{base}$ ——基准端的转动阶次;

$Z_p$ ——基准端主动齿轮齿数。

#### 4.5.3.5 啮合误差峰峰值

对齿轮啮合误差的前 $n$ 倍啮合谐波进行逆傅里叶变换,得到随啮合齿数变化的误差峰峰值。

## 5 试验报告

### 5.1 记录内容

应采用符合资质、易于理解的术语,准确、客观地表达试验结果,按附录A表A.1减压器样机参数及数据记录表要求记录。包括但不限于:

——参评产品的信息:品牌、型号、型式代码等基本信息;

- 检测条件：检测环境、检测设备、校准情况等；
- 检测方法与依据；
- 试验方法与结论；
- 试验过程图片：产品外观、检测环境等；
- 试验报告编制。

## 5.2 传递误差数据

测试结果按 4.5.3 传递误差计算方法处理，数据记录推荐按照附录 A 表 A.1 减速器样机参数及数据记录表要求记录。

## 附录 A

(资料性)

## 减速器样机参数及数据记录表

电动汽车用减速器总成传递误差测试的减速器样机参数及测试数据记录表，参照表 A.1。

表 A.1 减速器样机参数及测试数据记录表

被试减速器样机型号				测试时间			记录人		
测试类型		<input type="checkbox"/> 动态传递误差测试 <input type="checkbox"/> 静态传递误差测试							
测试对象		<input type="checkbox"/> 第一级齿轮副 <input type="checkbox"/> 第二级齿轮副 <input type="checkbox"/> 两级传动齿轮副							
减速器样机最高输入转速 (r/min)				减速器样机最高输入扭矩 (N·m)					
测试环境温度 (°C)				减速器样机传动比					
第一级主动齿轮齿数				第一级主动齿轮基圆直径 (mm)					
第一级从动齿轮齿数				第一级从动齿轮基圆直径 (mm)					
第二级主动齿轮齿数				第二级主动齿轮基圆直径 (mm)					
第二级从动齿轮齿数				第二级从动齿轮基圆直径 (mm)					
输入轴角度传感器精度 (")				输出轴编码器精度 (")					
中间轴角度传感器精度 (")									
测试转速 (r/min)				测试扭矩 (N·m)					
采样率 (Hz)				单次测试采集圈数 (r)					
原始数据记录									
试验 次数	TE 峰峰值 ( $\mu\text{m}$ )	TE 峰值 ( $\mu\text{m}$ )	TE 均方根值 ( $\mu\text{m}$ )	啮合 峰峰值 ( $\mu\text{m}$ )	啮合 谐波幅值 ( $\mu\text{m}$ )	2×啮合 谐波幅值 ( $\mu\text{m}$ )	3×啮合 谐波幅值 ( $\mu\text{m}$ )		

原始数据记录（续）		
次数		
	时域图	
	阶次域图	
	其他	
	时域图	
	阶次域图	
	其他	

## 附录 B (资料性)

### 传递误差测量减速器样机改制建议

电动汽车用减速器总成传递误差测量减速器样机改制方案，参照图 B.1-图 B.4。

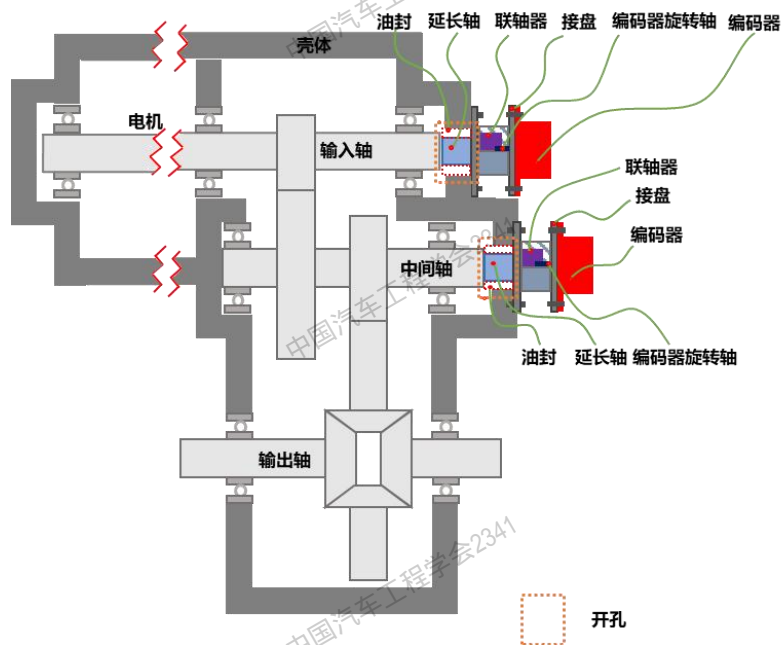


图 B.1 第一级齿轮副动态传递误差改制方案示意图

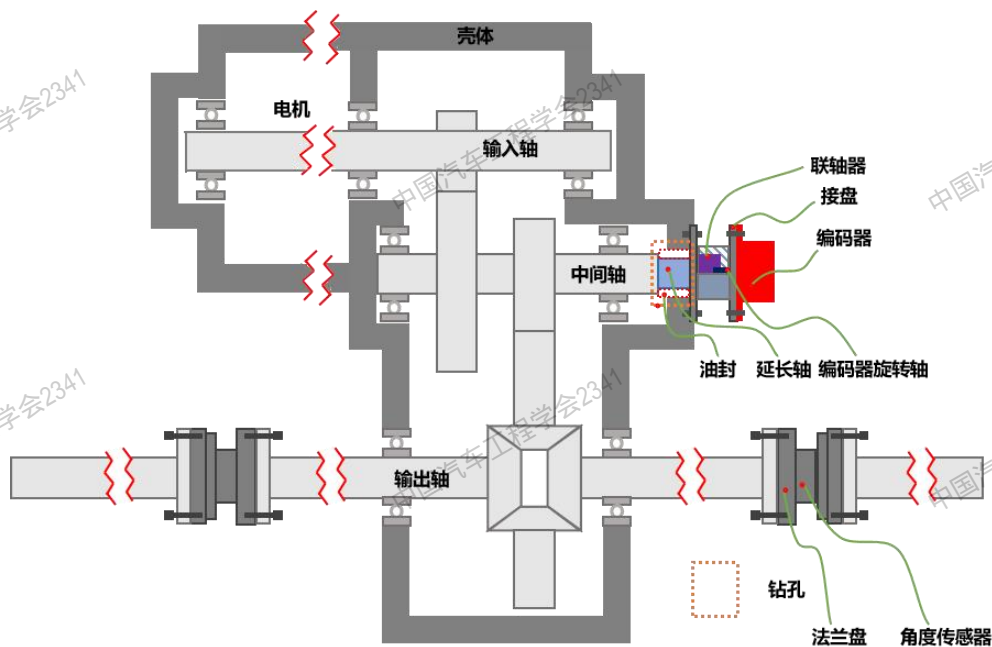


图 B.2 第二级齿轮副动态传递误差改制方案示意图

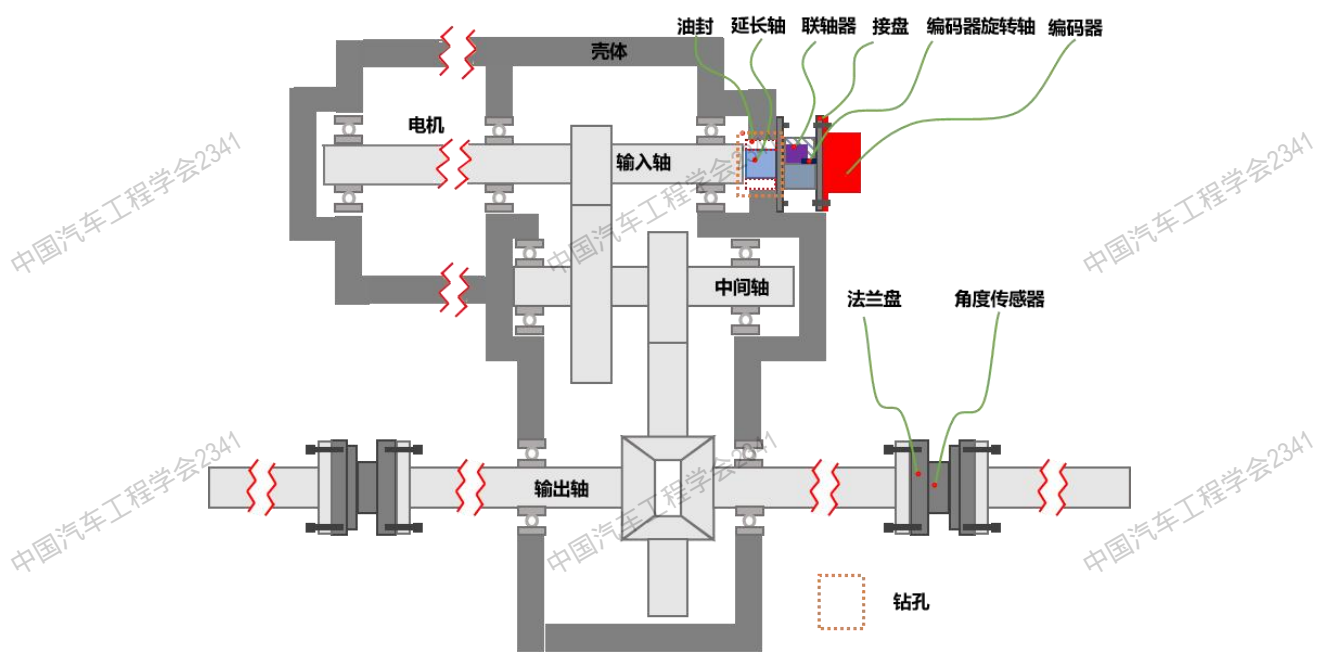


图 B.3 两级传动齿轮副动态传递误差改制方案示意图

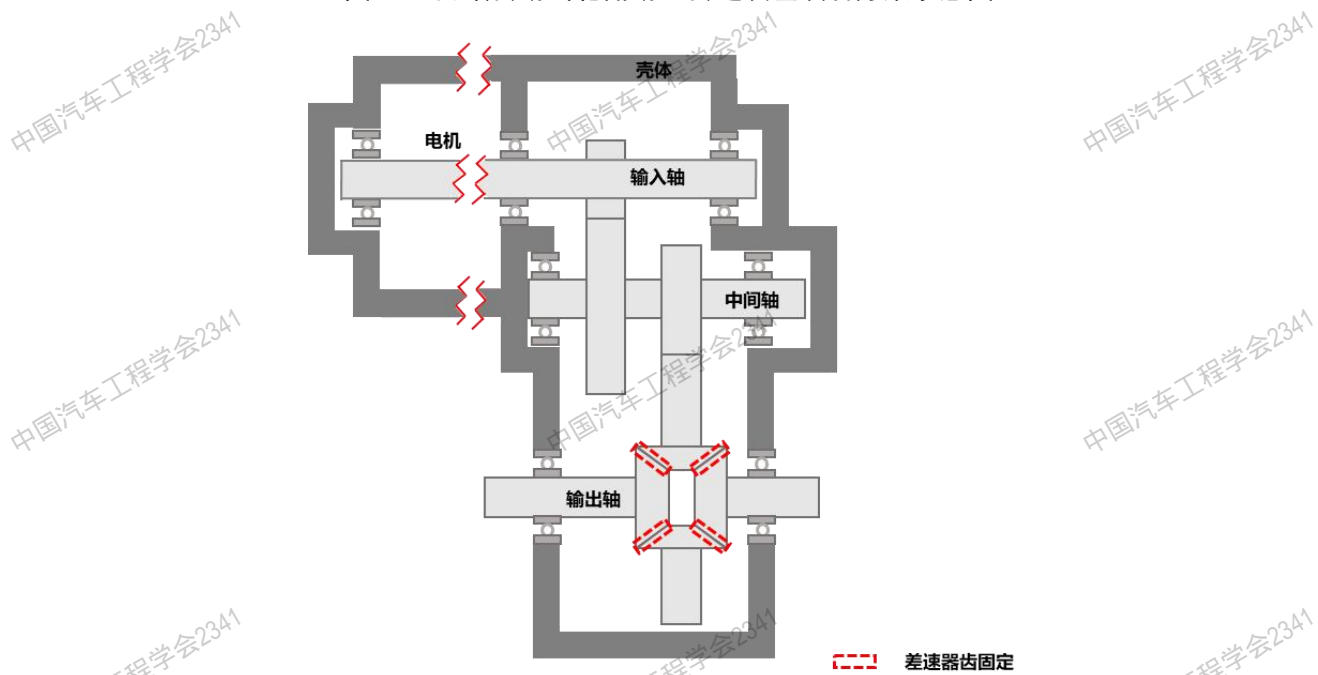


图 B.4 差速器改制方案示意图

## 参 考 文 献

---