

本文介绍了齿轮表面微观检测方法、齿面精加工的方法、强力珩齿工艺及改变砂轮设计螺旋角实验。通过调整砂轮螺旋角设计，同时调整轴交角来优化波纹方向，对 NVH 优化有显著的效果。

□ 宁波吉利罗佑发动机零部件有限公司 张才源 张引炳 黄超 石刚

通过强力珩齿改变齿轮表面波纹度来改善 NVH

随着电气化的发展，乘用车市场动力系统由传统的燃油车向混动、纯电驱转变，而传统的燃油车相比，特别是电驱车没有了发动机噪声环境的掩盖，对整机 NVH 要求不断增加，这也标志着消费者对乘坐噪声要求也日益提高，所以对电驱减速器系统中的 NVH 要求进一步提高。其中，齿轮是减速机构的主要组成部分，齿轮在啮合中产生的振动噪声，则为减速器主要的 NVH 来源。所以如何降低齿轮啮合产生的 NVH 问题尤为关键。

本文重点介绍齿轮表面微观检测方法、齿面精加工的方法、强力珩齿工艺及改变砂轮设计螺旋角实验，通过调整砂轮螺旋角设计，同时调整轴交角来优化波纹方向，研究对 NVH 优化的效果。

齿轮表面微观检测方法

通常在我们熟知的齿轮测量中心（如克林贝格，Wenzel），可以进行齿轮表面的微观测量。为什么要做微观测量？由图 1 可知，通过感知、耳听来自齿轮啮合的异响、啸叫等噪声，使用 EOL 测试进一步确认噪声，最后通过齿面微观检测转换成可以分析的报告。

齿轮表面微观检测主要常用以下方法：

- 1) Profile 齿形、齿向 Lead 检测。
- 2) 齿面傅里叶检测 FFT。
- 3) 拓扑检测 Topography，如图 2 所示。

NVH 问题是一个非常系统的问题，在齿轮箱

里面有很多转动部件，本文仅说明齿轮啮合时齿面精加工后的微观参数中的波纹方向导致的 NVH 问题，即通过分析拓扑报告来判定。

齿面精加工的方法

在齿轮加工行业，由于齿面的精度要求，在工艺热处理后要求对齿面精加工，常见的电驱系统齿轮在热处理后用珩齿工艺和磨齿工艺。

本文重点说明如何在珩齿工序实现改变齿轮微观参数，通过判定拓扑图来确认 NVH 的来源，优化 NVH，满足设计要求。

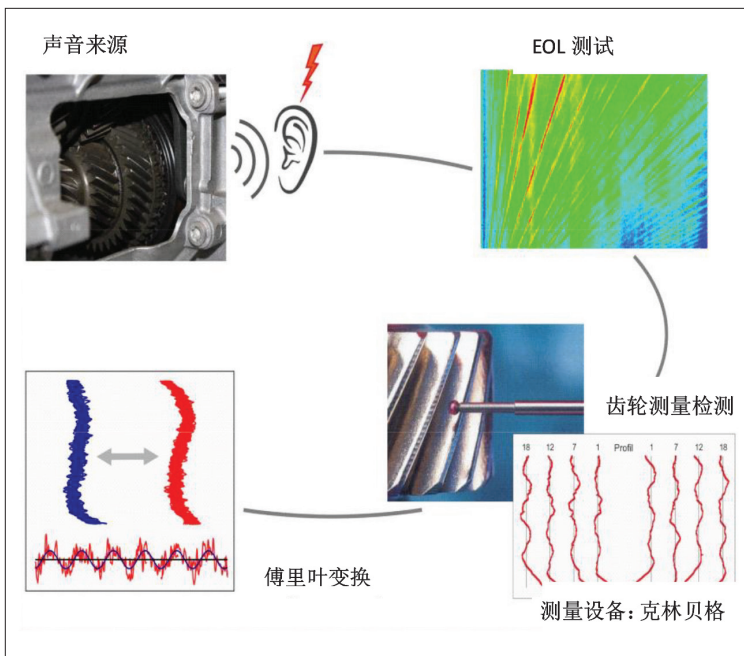


图 1 噪声来源和转换测量

强力珩齿工艺

强力珩齿是在齿轮进行热处理之后，对齿轮表面去除一定余量后的精加工，具有强制实现齿面修形的实现方式，并通过修整轮修整，工件轴与珩磨轮轴经过复杂的运动实现。PRAWEMA 强力珩齿机的结构示意图及工件与砂轮的位置关系，如图 3 所示。

在珩齿工序中如何实现改变齿轮表面波纹度方向。根据齿轮拓扑检测报告，重点关注几个参数。如图 2 的右半部分，上面的 NVH 优于下方，因为 β_w 角度小，产生共振频率的概率越小。基于此理论，在实际

珩齿过程中，如何让 β_w 角度小，即是优化 NVH 的方向。我们通过实验的方法，看看 β_w 角度的变化，来得出优化 NVH 的方向。

实验法

1. 实验条件

(1) 零件信息

圆柱齿轮，用于新能源电驱系统的太阳轮（参数单位按国标），具体信息见表 1。

(2) 珩齿机信息

数控盘齿珩齿机，型号 SynchroFine 205 HS (D) -A，涉及工件技术参数，比如工件直径为 20 ~ 150 mm，齿面最

表 1 圆柱齿轮参数

齿数	31 齿	齿顶圆	58.2 mm
模数	1.48 mm	齿根圆	48.7 mm
压力角	17°	有效渐开线起始圆	50.645 mm
螺旋角	30°	基圆	49.956 mm
旋向	左	齿宽	18 mm

大宽度为 70 mm，工件质量为 20 kg，工件齿数 6 ~ 150 齿，模数 1 ~ 5 mm。工件主轴最大速度为 6000 r/min，承载功率 >25 kW，珩磨轮外径 270 mm，珩磨轮宽度 20 ~ 70 mm。珩磨轮材料包括陶瓷、硬涂层及复合材料。珩磨轮主轴最大回转速度 2000 r/min，承载功率约 >25 kW。

(3) 涉及的程序

涉及的程序包括齿部过程数据、振荡数据。

齿部过程数据：①主轴 C 的转速：5898 r/min；②插入进给 X：2000 mm/min；③添加路径 X：0.320 mm 添加进给 X：2.70 mm/min；④添加路径 X：(1)：0.160 mm、添加进给 X：(1)：2.00 mm/min；⑤工作路径 X：0.070 mm、工作进给 X：2.00 mm/min；⑥工作路径 X：(1)：0.040 mm、工作进给 X：(1)：1.30 mm/min；⑦修整循环：200 齿部。

振荡数据：① Z 正向振荡：1.000 mm；② Z 负向振荡：1.000 mm；③ 振荡进给 Z：250 mm/min ④ 往复间隔：1 UB 轴；⑤进给速率 Z（间断）：250 mm/min；⑥清磨 X：1 往复行程。

2. 参数变量

参数变量包括振荡间隔、振荡进给、振荡行程及 $F_h\beta$ 值。其中，优化前的拓扑报告中，

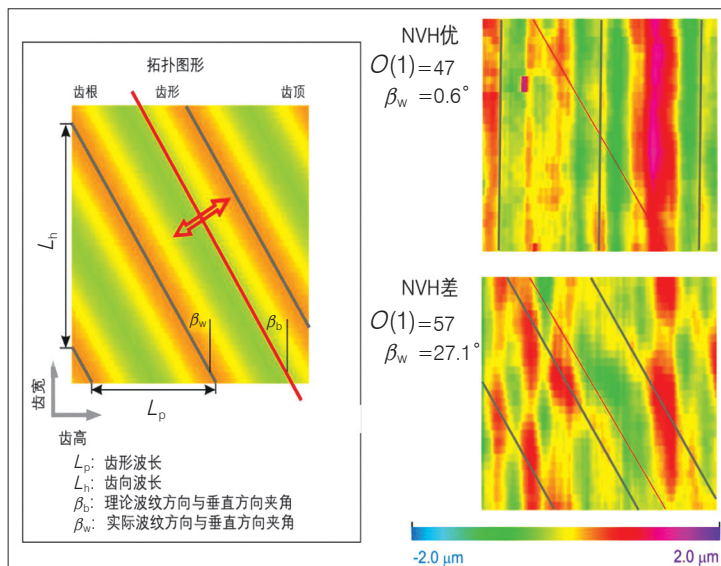


图 2 拓扑检测

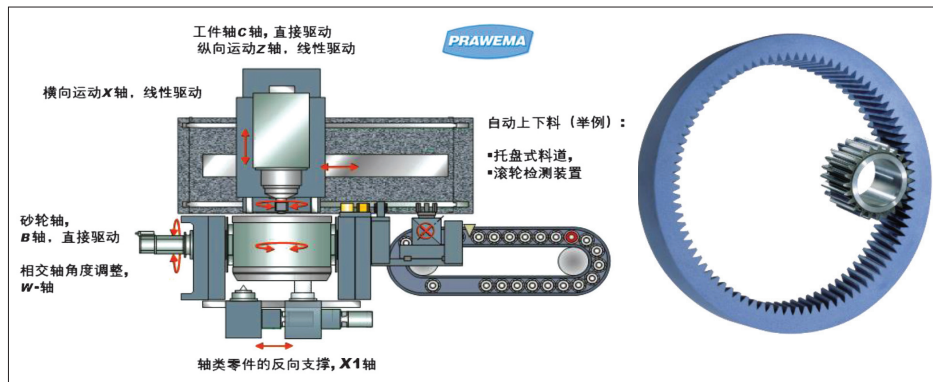


图 3 设备各主轴介绍和工件与砂轮的位置关系

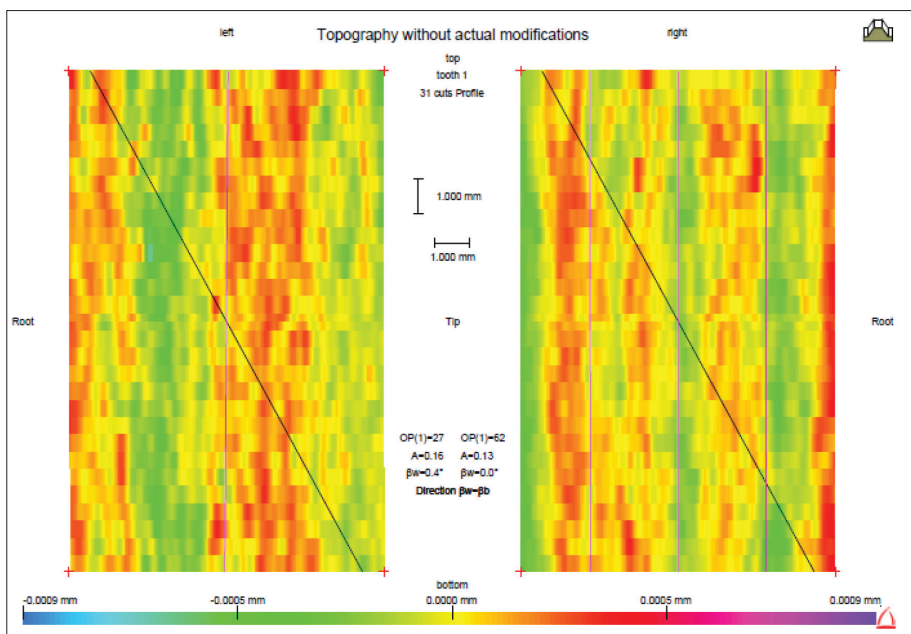


图 4 重新加工后拓扑报告

表 2 重新设计珩磨轮的螺旋角及调整轴交角度

项目 参数	工件 螺旋角	轴交角 (珩磨头偏转角)	珩磨轮螺旋角
原始参数	-30°	13°	-43°
优化参数	-30°	-13°	17°

左面 $\beta_w = -25.4^\circ$ ；右面 $\beta_w = -23.7^\circ$ ，根据图 2 结论，很显然，左右两面都对 NVH 不利，需要控制 β_w 。

通过调整以上变量，改变设备上的参数：振荡间隔、振荡进给和振荡行程， $F_n\beta$ 值改变

左右齿面的 β_w 很有限，我们需要寻找另外一个方案，能同时改变左右面的 β_w 值。

3. 改变砂轮设计螺旋角

在强力珩齿工序中，相关角度关系如下：

工件螺旋角 $\beta_1 =$ 轴交角

ϕ - 珩磨轮螺旋角 β_2

通过以上公式可以看出，轴交角可以通过程序改变，很容易实现，那么我们只需要重新设计珩磨轮的螺旋角即可保证等式成立。

重新设计珩磨轮的螺旋角，并且重新调整轴交角度，原始参数和优化参数见表 2。

重新加工后的拓扑报告如图 4 所示。从报告可以看出，角度左面 $\beta_w = 0.4^\circ$ 、右面 $\beta_w = 0.0^\circ$ ，从理论上基本已经优化到位。

随后的 NVH 整机测试结果表明，在同等条件下 NVH 也是低于优化前 5 ~ 10 dB。

结语

本文通过实验，重新设计珩磨轮的螺旋角，重新调整轴交角度，得出以下结论：

1) 通过现有资源调整珩磨机参数对优化结果不明显。

2) 通过调整砂轮螺旋角设计，同时调整轴交角来优化波纹方向，效果明显，并对 NVH 优化有显著的效果。AI

Automechanika Shanghai 探索汽车行业未来发展之路

近日，Automechanika Shanghai 上海国际汽车零部件、维修检测诊断及服务用品展览会组委会发布了深圳特展新展期。为回应汽车产业对于面对面商务交流的热切需求，经与各部门积极协商后，主办方决定深圳特展于 2023 年 2 月 15 至 18 日在深圳国际会展中心举行。Automechanika Shanghai —— 深圳特展以“技术·创新·趋势”为主题，聚焦汽车行业的技术升级，为海内外与会各方呈献最新的产业热点话题及发展趋势。

