

转向系统 “C-EPS+RBS” 模式中 转向器性能参数优化

□ 湖北三环汽车方向机有限公司/丹庭杰

近几年，EPS（电动助力转向器）由于其独有的诸多优点，如：效率高、能耗少、无污染、路感好等，迅速成为汽车转向系统的发展新方向，特别是在乘用车应用上推广得风生水起，普遍采用“C-EPS+R&PS”的匹配模式。C-EPS是指管柱型电动转向（Column type Electronic Power Steering，简称C-EPS）。R&PS是指机械式齿轮齿条方向机（Rack and Pinion Steering gear，简称R&PS），如图1所示。更令人欣慰的是，如今在商用车车型中，诸多汽车厂也看准了EPS的优点，为满足用户需要，结合市场定位，纷纷对商用车转向系统也开始选装EPS，特别

是在一些微型货车和轻型货车上，“C-EPS+RBS”的配置模式就顺应成为汽车转向系统的一种新兴匹配模式（见图2）。这里，RBS是指循环球机械式转向器（Recirculating Ball Steering gear，简称RBS）。既然现在EPS成为了商用车的配置亮点和销售卖点，作为生产转向器的专业厂家，站在新技术的推广高度上，结合主机厂车型平台，如何提供一套完整的转向系统解决方案呢？

商用车与乘用车最大的不同点是前桥负荷较大，轻型商用车的前桥负荷一般为0.5t~1.25t，前桥负荷直接影响转向器的转向轻便性。

“C-EPS+RBS”的配置模式中，RBS实现转向要求，C-EPS提供转向助力或回正助力。此时，匹配、优化RBS的参数，针对系统要求进行参数调整就显得尤为重要。

根据笔者多年从事机械式循环球转向器的设计开发工作，并长期协助主机厂提供整车转向系统解决方案的从业经验，RBS的参数匹配应该从设计阶段作为切入点，贯穿标准件的选型和优化、零件的生产制造精度的把控、总成装配系统参数的调整，重点考虑从减小转向器的转向手力、减小转向器中间位置的自由间隙、提高传动效率等要素入手展开工作。

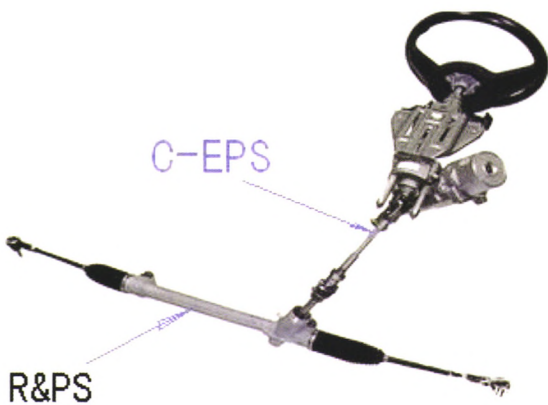


图1 乘用车使用的“C-EPS+R&PS”匹配模式

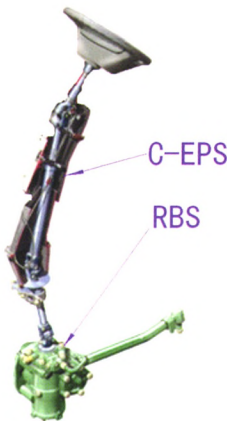


图2 轻型货车使用的“C-EPS+RBS”的配置模式

RBS总成的设计

商用车前桥负荷较大，因此，针对RBS总成，尽可能地设计大传动比，并首选变传动比。

传动比小，转向灵敏，但转向手力重，转向不轻便；传动比大，转向轻便手力轻，但转向灵敏性差。所以，转向轻便性和灵敏性是一对矛盾体，需寻找一个协调点，此时，变传动比兼顾转向灵敏、转向轻便双重优点，就特别适用于“C-EPS+RBS”的配置模式。在设计初期，应首先考虑如何保证转向盘上的转动手力适中又确保转向器的输出摆角达到整车要求。针对

“C-EPS+RBS”的转向系统配置模式，推荐参数见表1。

RBS中零部件的优化设计

1.提高转向器总成的传动效率，建议选装滚针轴承

转向器输出轴的支撑形式，因产品要求，采用粉末冶金衬套、铜锡合金双金属衬套及滚针轴承三种产品结构。这三种结构的零件是适合和满足用户的“丰富性、多样性菜单”的产物，是结合不同的产品定位和市场定位，满足不同用户的喜好而存在。但三种支撑形式的运动摩擦系数各不相同（见表2），

反映出的转向器性能有高低，直接影响转向器总成的传动效率。

笔者建议，“C-EPS+RBS”的转向系统配置模式中，机械式转向器应优先采用滚针轴承。

2.转向摇臂轴的扇齿优化设计

摇臂轴是转向器中重要的零件之一，而扇形齿又是摇臂轴零件的重中之重。扇形齿的参数设计及优化必须从理论上和实际中双重验证。

（1）优先设计为变传动比。上述内容简单介绍过摇臂轴的扇齿采用变传动比设计，表3中可直观看到定传动比和变传动比扇齿齿形的不同点。

从曲线可以看出，变传动比转向器在汽车直线行驶时传动比最小，这时利于汽车保持直线行驶，而在需要转向时，特别是大幅度转向时，此时的传动比慢慢增大，又达到了实现转向轻便的目的。因此，变传动比非常适合“C-EPS+RBS”的转向系统配置模式。

（2）变比摇臂轴扇齿传动比曲线的优化。采用“C-EPS+RBS”的转向系统配置模式时，客户要求汽车在中间位置开始转向时手力就需要轻便。此时按照传统的变传动比曲线很难满足或达

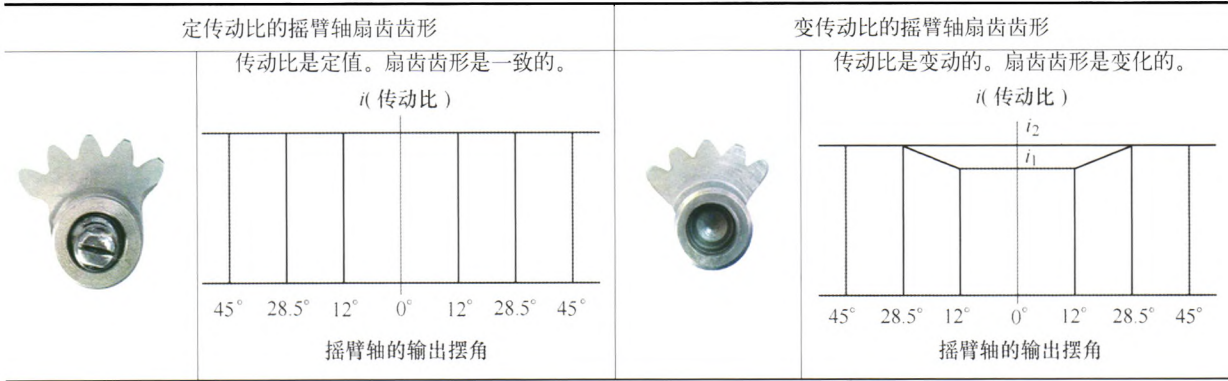
表1 “C-EPS+RBS”的转向系统配置模式参数

前桥负荷T/t	≤0.75	1.0	≥1.2
匹配转向器传动比 <i>i</i>	20~23	24~26.5	26.5~29.5
方向盘的输入总圈数 <i>n</i> /圈	5.0（非EPS时5.3圈）	5.5（非EPS时5.8圈）	6.0（非EPS时6.3圈）
扇齿、齿条推荐模数 <i>m</i>	4	4.5	4.5

表2 三种支撑形式的运动摩擦系数

输出轴的支撑形式	粉末冶金衬套	铜锡合金双金属衬套	滚针轴承
摩擦形式	滑动摩擦	滑动摩擦	滚动摩擦
特点	成本低。但摩擦系数大，易腐蚀、生锈	承载能力高，耐冲击，耐高温，摩擦系数较粉末冶金衬套低，不易腐蚀	起动力矩小，运动精度高。摩擦阻力几乎可以忽略不计。但成本较前两者高。
理论上达到的传动效率	$\eta + = 68\%$; $\eta - = 50\%$	$\eta + = 73\%$; $\eta - = 55\%$	$\eta + = 78\%$; $\eta - = 60\%$

表3 定传动比和变传动比扇齿齿形比较



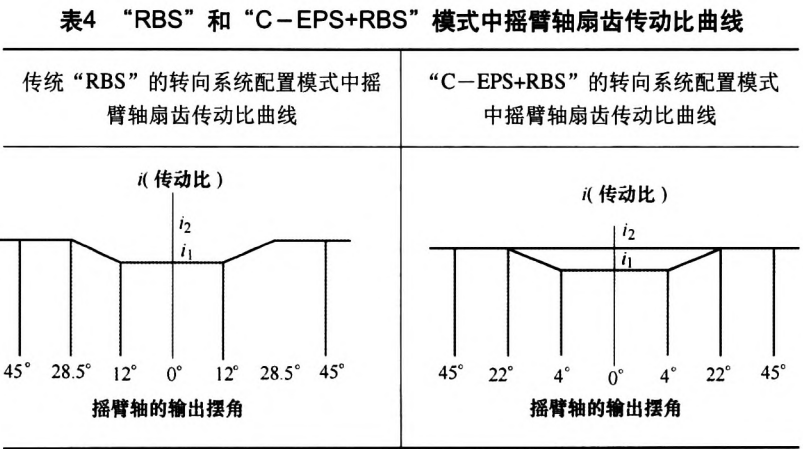
到用户要求，鉴于此，在设计上就应调整传动比的变动范围，让其更适应“C-EPS+RBS”的转向系统配置模式。汽车在直线行驶时，此时传动比为 i_1 ，当转动转向盘需要转向时，摇臂轴输出摆角在 4° 时传动比值就从 i_1 迅速增大到 i_2 ，输出摆角在 22° 时就达到最大传动比值，并一直保持到极限位置。

(3) 变比摇臂轴扇齿偏心的优化。在常规的机械管柱+机械式转向器的配置模式中，由于无转向助力，此时，仅凭扇齿克服载荷通过摆动来实现转向，因此摇臂轴的中间扇齿的磨损比两边的扇齿磨损稍快。在设计时，各国的工程师们将摇臂轴扇齿与转向螺母的齿条啮合间隙设计成“中间位置小无间隙、两端间隙稍大”的方案。实现这种方法之一一是增加摇臂轴扇齿和旋转轴的偏心，见表4。典型的日本五十铃产品，其摇臂轴与扇齿的偏心为0.5mm，国内部分转向器厂甚至将偏心值设置为0.8mm或1mm。这种设计方案可使转向器中间位置磨损出现间隙时通过调整消除中间位置间隙，达到让转向器焕然一新的感觉。但该种方案的缺点是转向器在两端位置或极限位置附近换向时容易产生齿轮的啮合噪声。

因此，在使用“C-EPS+RBS”的转向系统配置模式时，由于此时C-EPS能提供转向助力，扇齿的磨损理论上会得到缓解，为了兼顾改善啮合噪声这个问题，这时可适当减小摇臂轴扇齿与旋转轴的偏心值。

RBS总成参数的调整

RBS匹配与C-EPS时，鉴于C-EPS可以为转向器系统提供转向助



力，此时的机械式转向器总成应优先考虑保证中间位置小或无传动间隙、转向灵敏性和回正等特性。

因此，建议“C-EPS+RBS”的转向系统配置模式中机械式循环球转向器的各相关参数调整见表5。

表 5				
序号	拟优化项	机械管柱+RBS	C-EPS+RBS	目的
1	轴承的预紧值/ N·m	0.2~0.4	0.3~0.5	从输入端控制转向器中间位置间隙的早期出现
2	扇齿与齿条的啮合峰值/ N·m	0.6~1.0	0.8~1.2	从输出端控制转向器中间位置间隙的早期出现
3	转向器输入的总圈数/圈	n	n-0.3 (减少0.3圈)	因为有EPS的助力，此时应优先考虑转向灵敏性
4	转向器中间位置间隙	将转向器转动到中间位置，固定转向器和输出端。用1.5 N·m的力矩转动输入端，在190mm的力臂位置测量中间位置间隙≤10mm	将转向器转动到中间位置，固定转向器和输出端。用1.5 N·m的力矩转动输入端，在190mm的力臂位置测量中间位置间隙≤5mm	减少转向器中间位置间隙，提高转向灵敏性
5	转向器总成的逆驱动力矩 (提高转向器的回正性能) / N·m	≤42	≤35	由于使用了滚针轴承等优化零件，降低逆驱动力矩值，即提高了转向器的回正能力

以上这些参数和指标的优化、改善和调整，是笔者从理论上出发，结合整车的需求，多次整车验证，再经客户的反馈和市场检验后汇总定型，适用微型、轻型商用车转向系统。

这种新兴匹配模式的转向系统，应用到长安、福田等微车上，使“C-EPS+RBS”转向器系统性能指标得到明显提升，迅速成为整车产品的亮点和卖点，使整车一度成为市场的宠儿。 **AUTO1950**