

# 本田Honda赛车转向系统设计与优化

宋宜远 何佳宁 孙旭东

上海工程技术大学机械与汽车工程学院

**[摘要]** 当今时代, 随着绿色发展理念的提出。节能环保是未来发展的大方向, 新能源的开发以及节能环保效率的提升是其两大重心。本田节能竞技大赛的举办给了大学生很好的平台来进行节能原型车的交流和相互学习。本项目针对本田节能竞技, 对转向机构进行重新设计, 通过轻量化和更合理的结构, 来实现更好的比赛成绩, 给予车手更安全的驾驶环境。

**[关键词]** Honda中国节能竞技大赛; 应力; 机械传动; 传动比

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.11.015

## 赛事简介

Honda中国节能竞技大赛以“有效利用有限的资源, 不破坏公共环境, 为子孙后代造福”为核心, 以“挑战一升, 环保一生”为最高宗旨, 旨在提升全社会的节能环保意识。参赛队员通过自主创意, 设计出世界上独一无二的赛车参与角逐, 从而推行环保理念。让大家在竞赛中得到收获和乐趣, 同时学到降低油耗环保的相关知识。

竞技大赛按照赛事规定, 以Honda4冲程弯梁车的125cc电喷发动机为基础, 在车体保证3轮及以上并且符合安全方面诸项规定之外, 完全由各车队独自创作的赛车在指定的赛道内跑完路程, 考该赛事对参赛选手的专业知识设计知识等进行考验, 比拼消耗燃油最少即胜利。

## 一、背景

传统的Honda节能赛车转向系统属于机械转向系统, 转向操纵机构、转向器和转向传动机构这三大系统中的转向器部分采用了简化版循环球式转向器, 即仅保留循环球式转向器中的螺杆螺母传动副, 同时以此配合转向操纵机构即转向盘实现同步转动。由于仅有循环球式转向器中的第一级螺杆螺母传动副, 转向盘仅能实现横向位移。所以轮胎行驶方向与转动轴方向始终保持一致, 造成转向操纵机构并没有起到通过转动来控制行驶方向而是通过横向位移来改变方向。

传统Honda节能赛车转向系统的正效率很高, 工作平稳, 使用寿命长, 可靠。但其逆效率也很高, 容易将路面冲击力传到转向盘, 同时由于转向盘通过横向移动控制方向, 车手的操控感不适。

## 二、研究问题

针对本田Honda比赛中路面反作用力传导导致转向轴与方向盘之间连接管断裂、转向虚位大以及操控感不适的问题, 项目研发小组需要对转向系统重新进行设计与优化。根据本田Honda中国节能竞技大赛赛规第10条第四点, “所有车辆必须保证十足的刚性确保驾驶的稳定性。”因此, 需在满足以上赛规的情况下, 对转向系统进行设计, 优化相关传动比, 增大转向系统整体刚性强度, 改善操控感以及顺便加强车身的轻量化。

## 三、研究方案

关于转向系统刚性方面, 我们决定去除传统的转向柱, 转而使用强度更大的碳管来代替, 并通过建模+ANSYS Workbench仿真平台分析测定。

关于车身轻量化方面, 我们使用了齿轮齿条转向器这类结构相对简化的转向器, 相对于传统的Honda节能赛车转向系统省略了转向摇臂和转向直拉杆, 使转向传动机构简化; 在材料方面, 我们选择了使用硬度与韧性相对较高的轻质尼龙玻纤进行3d打印而壳体等零件均采用7075铝材料, 从两方面满足车体轻量化要求。

对于减小转向虚位方面, 我们设计了用来安装转向齿轮和齿条的壳体, 首先通过压盖上的一个轴承底座来起到对转向齿轮的限位作用, 保证转向齿轮和齿条无间隙啮合; 同时转向齿条通过两点支撑在壳体上, 一个支撑点是与转向齿轮的啮合处, 另一点是右侧压制在壳体端部的橡胶支撑套, 以减少齿条光滑面滑动; 关于转向齿轮和与转向盘连接的转向

轴之间的配合, 使用一种软木材包裹在转向齿轮的柱体上, 增大柱体的摩擦力同时再与转向轴之间以螺栓连接, 以保证转向齿轮与转向轴之间的一体化。

关于车手操控方面, 我们重制了转向系统, 放弃了传统Honda节能赛车转向系统, 采用汽车小幅度转动方向盘的方式替代了大幅度摇晃的方式; 并且在方向盘的设计上, 内部金属骨架外加包了柔软的合成橡胶, 使其具有良好的手感, 同时以一块坚固的薄碳板实现控制点火开关和总电源开关以及紧急情况下的急停按钮开关的集成。

最后通过使用球头通过旋松夹紧螺栓来转动横拉杆体, 改变转向横拉杆的总长度, 使其与新的齿轮齿条转向器紧密匹配, 并且对相应的转向轮间轴距与轮倾角进行了调整, 避免了与车架发生干涉的可能, 并且增加了限位螺栓与密封圈进一步保证转向系统的角度操控与紧固性, 整体优化了转向系统。

## 四、研究步骤

### (一) 建立三维数模

#### 1. 软件介绍

SolidWorks是法国DASSAULT专门用于机械设计的软件窗口产品。作为该公司最具竞争性的CAD产品, 它遵循易用、稳定性和创新三个原则。它可以满足客户在产品开发活动中的需求, 从工程项目的工业产品设计建模到组装、分析和维护支持多个产品模拟设计过程。

#### 2. 使用SOLIDWORKS 绘制转向系统三维数模

##### (1) 绘制草图

进入SOLIDWORKS打开空白零件图, 选定基准面绘制轮廓草图。

##### (2) 生成实体

进入特征模块, 选择拉伸基体, 生成零件胚体。

##### (3) 剪切实体

进入特征模块, 选择拉伸切除(扫描切除/旋转切除/异形孔), 通过相应草图, 切割实体。

##### (4) 制作各个零件模型

重复4.1.2.1到4.1.2.3 步骤或使用库。

##### (5) 配合零件

进入SOLIDWORKS打开装配图, 输入零件, 通过右击菜单“浮动”、“固定”和鼠标滚动键调整零件方位, 并且Ctrl左击零件相应部分点击配合, 生成装配体。

### (二) 应力分析

#### 1. 软件介绍

ANSYS软件是由ANSYS公司开发的大型通用有限元分析软件, 用于分析熔体结构、流体、电场、磁场和声场。本项目主要采用ANSYS工作台仿真平台, 对复杂机械系统的结构静力学、结构动力学和刚体动力学进行分析和仿真。

#### 2. 使用ANSYS Workbench仿真平台 构建有限元模型

##### (1) 输入零件图

打开Workbench, 双击Static Structural, 右击Geometry选择import geometry, 浏览选择相关文件。

##### (2) 生成网格

双击Set up进入Mechanical界面, 左击网格, 尺寸调整

分辨率为6, 右击网格, 生成网格。

(3) 设置静态结构

左击静态结构, 在上栏选择相应载荷, 选定相应几何单元, 在左下框内设定相应载荷大小。

(4) 求解

左击静态结构, 在上栏选择应力、应变, 右击求解方案, 求解得出结果。

(四) 传动系数的测算

1. 力传动比计算

两个转向轮所受到的转向阻力  $2F_w$  与驾驶员作用在转向盘上的手力  $F_H$  之比称为转向系统的力传动比  $i_p$ :

$$i_p = 2F_w / F_H \quad (4.1)$$

轮胎上的转向阻力  $F_w$  和转向节的转向阻力矩  $Mr$  之间的计算方式

$$F_w = Mr / a \quad (4.2)$$

式中,  $a$  为主销偏距, 是指主销与支撑平面的交点到同侧轮胎接地中心的距离。

方向盘上的手力  $F_H$ :

$$F_H = 2Mh / D_{sw} \quad (4.3)$$

式中,  $Mh$  为方向盘上力矩大小;  $D_{sw}$  为转向盘直径。

2. 角传动比计算

转向盘转角增量与同侧转向节相应转角增量之比为转向系统角传动比:

$$i_{wO} = \frac{d\delta}{dt} / \frac{d\theta}{dt} = d\delta / d\theta \quad (4.4)$$

式中,  $d\delta$  为转向盘转角增量;  $d\theta$  为转向节转角增量;  $dt$  为时间增量。转向系角传动比又为:

$$i_{wO} = i_w / i_w \quad (4.5)$$

式中,  $i_w$  为转向器角传动比,  $i_w$  为传动机构角传动比。可以看出转向系角传动比由转向器角传动比  $i_w$  与传动机构角传动比  $i_w$  组成, 转向系统的角传动比越大, 需要克服一定地面转向阻力距离的转向盘转矩越小, 因此当转向盘直径一定时, 驾驶员对转向盘施加的手力越小, 但传动比过大则会导致转向操作不灵敏。

3. 传动比计算分析

将式 (4.2)、式 (4.3) 代入式 (4.1) 后得到

$$i_p = \frac{Mr \cdot D_{sw}}{Mh \cdot a} \quad (4.6)$$

由式 (4.6) 可知,  $a$  与转向盘力矩成反比,  $i_p$  与转向盘力矩成正比。通过增加方向盘的轻量化, 减少方向盘操纵的轻量化, 从而通过增加方向盘的轻量化来增加动力传动比此外, 又有下面计算方式:

$$2Mr / Mh = \frac{d\delta}{d\theta} = i_{wO} \quad (4.7)$$

式 (4.7) 代人 (4.6) 式后得到  $i_p = i_{wO} \cdot D_{sw} / 2a$  (4.8)

综合上述公式, 力传动比  $i_p$  与转向系角传动比  $i_{wO}$  成正比, 当力传动比  $i_p$  增大的同时 转向系角传动比  $i_{wO}$  也会增大, 转向轻便型的赛车的转向性能降低, 转向不灵敏。所以设计时需要兼顾转向省力和转向灵敏。

五、实验数据

(一) 路试实验

路试实验宜在无自然风、无雨雪的气候条件下进行, 试验道路应保证平坦。

1. 用路障法测试赛车的转弯半径

在实验前, 首先完成车辆上路前的检查, 然后将车辆行驶至车速为20km/h进行预热并准备好路障、绳索准备好赛道。在实验时, 把车辆加速到规定车速; 待车速平稳后, 将离合片断开, 变速器挂空档, 使车辆匀速滑行过弯。与此同时, 检测并记下滑行初车速、赛道拐弯半径、弯道大致形状等, 并始终记录到制动结束。在相同条件下改变赛道弯度, 反复完成数次测试。

2. 测定车辆拐弯时动摩擦因数

车辆拐弯时的摩擦系数, 就是车辆运动在相同时速时的滑动摩擦系数, 即车辆的动摩擦因数。

$$f = \mu \cdot N \quad (5.1)$$

准备一部电瓶车、5个弹簧秤、2个滑轮, 用一根绳索链接测试车辆 (前后轮固定死无法转动), 使电瓶车分别以25km/h、30km/h的速度拖动载人车辆 (自行车平头胎), 并记录拉力与重力, 选择沥青路面重复多次实验。

3. 路试数据

在进行路试时, 由于实验条件原因, 我们采用了分段测速的方式。即在不同的速度下, 测定车辆数据。

(二) 传动比计算与应力分析数据

转向盘从直线行驶的中间位置向任一方向的自由行程约为10度。

$$i_{wO} = d\delta / d\theta = 20^\circ / 2^\circ = 10 \quad D_{sw} = 203mm \quad a = 225mm \quad i_p = i_{wO} \cdot D_{sw} / 2a = 4.51$$

$$2F_w = f = \mu \cdot N = 0.6405 \times 93 \times 9.8 \times \frac{2}{3} = 389.1678N \quad (2 \text{ 前转向轮 } 1 \text{ 后动力轮})$$

$$F_H = 2F_w / i_p = 86.29N$$

所用尼龙材质抗弯强度为90MPa; 45钢屈服极限为355MPa, 抗拉强度约为600MPa; 碳管剪切强度为 $\geq 50$ MPa。

(二) 结论 (对比数据)

我们设计了齿轮齿条转向器取代了球式转向器, 并加装了橡胶与软木保证系统的一体化和操纵手感。此外, 还微调了调节拉杆完成了车架、车轮、转向系统的协调优化。而通过对转向传动机构的优化, 我们小组发现单从转向操纵灵敏而言, 转向盘和转向节的运动已经能基本实现同步开始同步终止, 获得了良好的操纵性能。

最终我们车辆的转向能力、安全性、节能程度都获得较大的提升, 最小转弯半径由原车的9.8米变为8 (柳叶低速) 到8.2 (柳叶高速) 米 [半圆9米], 可以更好地应对10米转弯半径的赛道; 车手操纵感良好, 方向盘震动和转向空位已经基本消除; 转向系统整体强度保证, 尼龙、碳纤维具有良好抗冲击能力; 车辆减重6%。

参考文献

[1] 辛京. 基于快速控制原型的汽车电动助力转向系统研究和开发[C]. 青岛理工大学, 2010.  
 [2] 陈家瑞. 汽车构造[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.  
 [3] 韩英淳, 王宝奎. 汽车制造工艺学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.  
 [4] 黄天泽, 黄金陵. 汽车车身结构设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

基金项目: 本文系上海工程技术大学校级大学生创新训练项目, 项目名称“HONDA赛车转向系统参数优化”, 项目编号: CX2101028

表5.3 相关应力分析

	方向盘	连接碳管	齿轮	齿轮盒	转向节	球头拉杆
总变形	3.32e-5m	1.17e-4m	5.32e-5m	637 $\mu m$	2.13 $\mu m$	6.22e-5m
等效弹性应变	2.33e-4m	0.436mm	0.594mm	4.46e-4m	77.2 $\mu m$	5.99 $\mu m$
最大主应力	37.18MPa	16.75MPa	78MPa	26.26MPa	118MPa	42.31MPa