

车辆转向及操稳风格的研究与设定

嵇明明^{1,2}

¹同济大学, 上海

²上汽集团商用车技术中心, 上海

收稿日期: 2022年3月6日; 录用日期: 2022年4月6日; 发布日期: 2022年4月14日

摘要

本文对车辆转向及操稳风格及设定进行了研究。首先, 分析并阐述了常见的转向及操稳在某些指标两极的主观感受。然后, 选择了与主观感受密切关联的9个车辆动力学指标作为研究对象, 并结合市场反馈, 确定这9个客观指标对应的主观感受, 建立主客观之间的关联, 并按照GB/T 6323-2014汽车操纵稳定性试验方法对二十余辆车的9组特性指标进行了客观试验。最后, 分析9组指标的客观试验的结果分布可知, 车辆的转向及操稳可以划分为舒适和运动两种风格, 针对两种性能风格分别制定了不同的客观指标范围。该研究解决了车辆操稳性能开发过程中常见的主观感受与客观测试相互脱节的现状, 该研究成果可以有效指导底盘调校工作, 有利于建立品牌的转向及操稳风格的调性。

关键词

操纵稳定性, 转向风格, 操稳风格

Research and Setting of Vehicle Steering and Handling Styles

Mingming Ji^{1,2}

¹Tongji University, Shanghai

²SAIC Commercial Vehicle Technology Center, Shanghai

Received: Mar. 6th, 2022; accepted: Apr. 6th, 2022; published: Apr. 14th, 2022

Abstract

In this paper, vehicle steering and handling styles and setting method are studied. First of all, it analyzes and expounds the common subjective feelings of steering and handling at the two extremes of some indicators. Then, choose 9 indexes of vehicle dynamics as the research objects

which closely associated with subjective feeling, and according to the after sale feedback, state explicitly the nine objective indicators of subjective feeling, also establish the contact between them, and 9 sets of objective characteristic of more than twenty vehicles were tested according to the "GB/T 6323-2014: Controllability and stability procedure for automobile". Finally, by analyzing the distribution of the results of the 9 groups of objective tests, it can be seen that the steering and handling of vehicles can be divided into comfort and movement styles, and different objective index ranges are formulated for the two performance styles. The research solves the disconnection between subjective feeling and objective test in the development process of vehicle handling performance, and the research results can effectively guide the chassis tuning, which is beneficial to the establishment of brand's steering and handling image.

Keywords

Handling, Steering Style, Handling Style

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

通俗来讲, 汽车的操纵稳定性(Handling)就是车辆能够在驾驶者通过转向盘输入后按照驾驶者的意图行驶, 并且此过程中驾驶者不感到紧张和疲劳。车辆动力学已有 90 多年的发展历程, 形成了各种评价方法。尤其是进入新世纪后, 随着国内自主品牌汽车对底盘性能的愈发重视, 各大主机厂都陆续地建立了自身的底盘开发流程和汽车操稳的评价流程及指标。多数厂家采用客观试验与主观调校相结合的方法进行操稳性能开发。但是普遍存在的问题是, 客观试验和主观感受的脱节, 最终导致车辆操稳性能达不到预期目的, 而后期更改的代价又很大, 往往被动接受车辆操稳性能短板。从长远来讲, 无益于品牌调性的形成。

本文旨在探索建立驾驶者主观感受与车辆操稳客观指标之间的关联, 通过主观感受与客观指标的关联对应来反馈客观指标的开发目标设定, 从而确定开发车辆的操稳品质调性。首先, 从公司操稳客观指标数据库中选取典型的代表性指标, 与主观感受建立一一对应关系。其次, 对所选取的客观指标点阵图进行划分, 确定风格类别。最后, 根据操稳客观指标的区间来设定本公司开发车辆的操纵稳定性的 DNA 调性。该研究对建立品牌的 DNA 调性有重要的参考意义。

2. 转向手感的主客观结合

驾驶员通过转动方向盘对车辆实现转向, 通过主观感受转向盘角度 - 侧向加速度、转向盘转矩 - 侧向加速度的关系形成对转向手感的主观感受。

本节选取了 20 余种车辆的转向特性客观参数, 与 5 种常见的转向手感建立关联。

2.1. 转向手感的主观感受

车辆的主观评价或主观感受在开发中具有非常重要的地位, 这是目前唯一全面有效的评价汽车复杂行驶过程的方法, 即使在客观试验越来越完善的情况下, 主观评价仍然不可替代[1]。

如图 1 所示, 分别描述了 5 种转向特性指标在太大和太小情况下的主观感受。

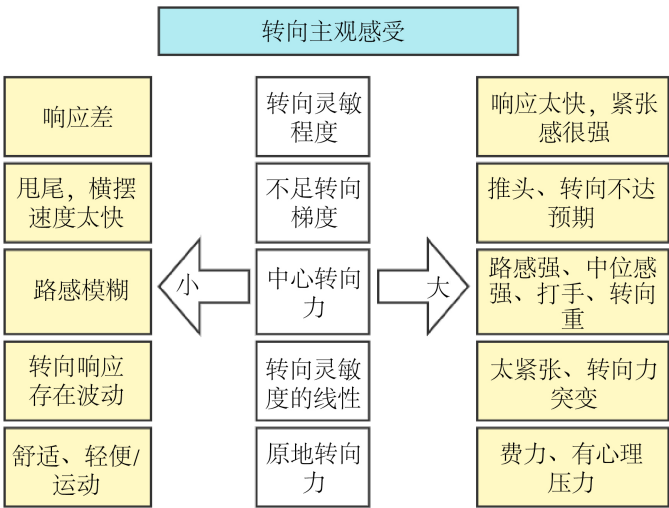


Figure 1. Steering subjective feeling
图 1. 转向主观感受的描述

2.2. 转向手感的客观指标选择

和转向手感关系密切的客观操稳指标众多，如表 1 所示。通过调研三家竞争对手(B1、B2、B3)的 DNA 调性定义并结合售后市场反馈情况，决定选择转向灵敏度、不足转向梯度等 5 个客观指标作为 M 品牌的研究对象。

Table 1. Objective target choose of steering characteristics
表 1. 转向特性的客观指标的选择

转向性能相关指标		M	B1	B2	B3
转向响应	转向灵敏度				
	最小转向灵敏度				√
	0.15 g 转灵敏度(g/100 degree SWA)	√	√	√	√
	响应时间				
	横摆响应时间(s)				
	不足转向梯度(deg/g)	√	√		
转向反馈	后轴转向柔度(deg/g)				
	转向刚度				
	0 g 转向力矩梯度(N·m/g)	√	√		√
	转向线性度				
	转向灵敏度线性度(SS min/0.1g)	√	√		√
转向力	转向力矩梯度线性度(0.1 g/0g)				
	转向力(N·m)				
	原地转向力(N·m)	√	√	√	√
	转向力矩 VS 车速(N·m~km/h)				
	低速转向力矩(N·m)				
转向回正	动态转向力矩(N·m)				
	连续回正至中心			√	

2.2.1. 转向灵敏度@0.15 g (g/100 degree SWA)

如图 2 所示, 转向灵敏度@0.15 g = $100/S_{LOPE}$, S_{LOPE} 为转向盘角度 vs 侧向角速度曲线在 0.15 g 处的斜率, 转向盘角度 vs 侧向加速度曲线通过整车中心区操稳试验获得。转向灵敏度表征车辆在线性区的转向响应、转角输入后车辆侧向加速度的建立快慢。其意义体现在响应性能和高速易驾驶性之间的平衡: 是侧向加速度对转向盘转角的稳态增益, 反映了方向控制的稳态性能, 体现了在道路跟踪方面人-车性能的要求; 关系到驾驶员日常驾驶的紧张程度。

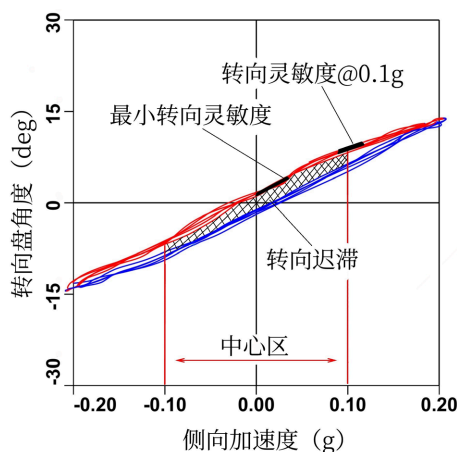


Figure 2. Steering wheel angle vs lateral acceleration

图 2. 转向盘转角 vs 侧向加速度

美国通用公司统计了从 1984 年至 2010 年期间共计 1024 辆轿车和 SUV 的转向灵敏度@0.2 g, 显示呈现出不断增加的趋势[2], 这与汽车工业制造手段的提升及道路条件改善密切相关。

2.2.2. 不足转向梯度

不足转向特性与过度转向、中性转向为常见的三种车辆转向特性。不足转向特性反映车辆方向控制的稳态性能。影响车辆不足转向的因素众多: 车辆的架构参数、悬架的 K&C 特性、侧向力下载荷的分布及载荷转移等等。车辆在运动过程中, 胎压、载荷都会影响不足转向梯度的大小, 为防止车辆由不足转向特性过度为过度转向, 所以不足转向梯度不能太小。反之, 不足转向梯度也不能过大, 过大的不足转向梯度会导致车辆横摆响应速度变慢, 转向灵敏度的带宽也会变大, 不利于车辆的操控。如图 3 所示, 在 1984~2010 年间, 不足转向梯度逐渐变小[2]。

2.2.3. 转向力矩梯度@0 g

如图 4 所示, 转向盘转矩 vs 侧向加速度曲线通过整车中心区操控试验获得。侧向加速度为 0 g 时的转向盘转矩随侧向加速度的变化率为转向力矩梯度@0 g, 我们经常用这个参数来表征转向的中间位置感, 也就是方向盘在中间位置时候路感的强弱。

2.2.4. 转向灵敏度线性度(SS min/0.1g)

转向灵敏度的线性度定义为: 最小转向灵敏度/0.1 g 时转向灵敏度, 其大小受到转向系统柔度和系统间隙影响较大。线性度越高, 说明汽车响应变化率与输入变化率的比例化程度越高, 汽车也就越容易驾驶。

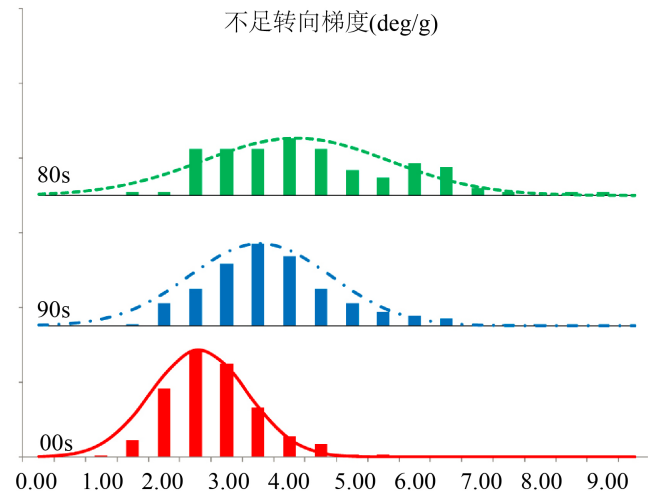


Figure 3. Understeer gradient change trend in 1984~2010
图 3. 1984~2010 年间不足转向梯度的变化

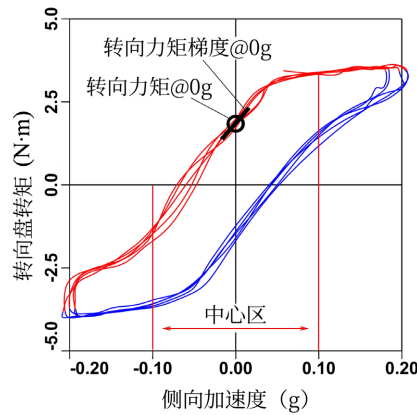


Figure 4. Steering wheel torque vs lateral acceleration
图 4. 转向盘转矩 vs 侧向加速度

2.2.5. 原地转向力矩(N·m)

原地转向力矩是指车辆在静止或者车速< 10 km/h 的转向力矩的大小, 该指标对于驾驶员的影响常见于车辆调头和泊车工况。根据市场的反馈, 大多数驾驶员希望原地转向力矩越小越好, 尤其是商用车的驾驶员对该指标特别敏感。

2.3. 转向手感主客观关联

如表 2 所示, 转向特性的客观指标与驾驶员主观感受之间的对应关系。当然, 转向的主观感受是十分复杂的多因素糅合形成, 为了简化研究, 只选取对其影响最直接、影响程度最大的客观指标进行研究。

Table 2. Steering objective target vs. subjective feeling

表 2. 转向主观感受与客观指标的对应

主观感受	转向响应的快慢	转向精准度、稳定性	路感、中间位置感	转向响应的线性度	转向轻重
客观指标	转向灵敏度	不足转向梯度@0.15 g	转向盘转矩梯度(0 g)	转向灵敏度的线性度	原地转向力矩

3. 操稳性的主客观结合

本文仅研究中心区和线性区的车辆操稳性能。如图 5 所示，依照国际惯例，以侧向加速度的大小为标准，设定操控性能区域为中心区(0~0.1 g)、线性区(0.1~0.45 g)、非线性区(0.45 g~最大侧向加速度)。

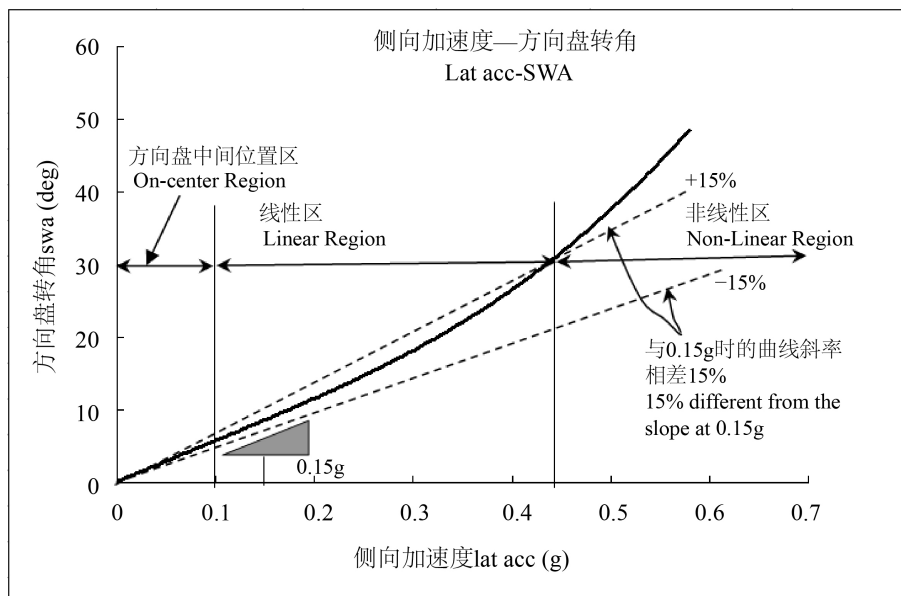


Figure 5. Handling performance regions

图 5. 操控性能区域

3.1. 操控性的主观感受

如图 6 所示，分别描述了 4 个操控特性指标在太大和太小情况下的主观感受。

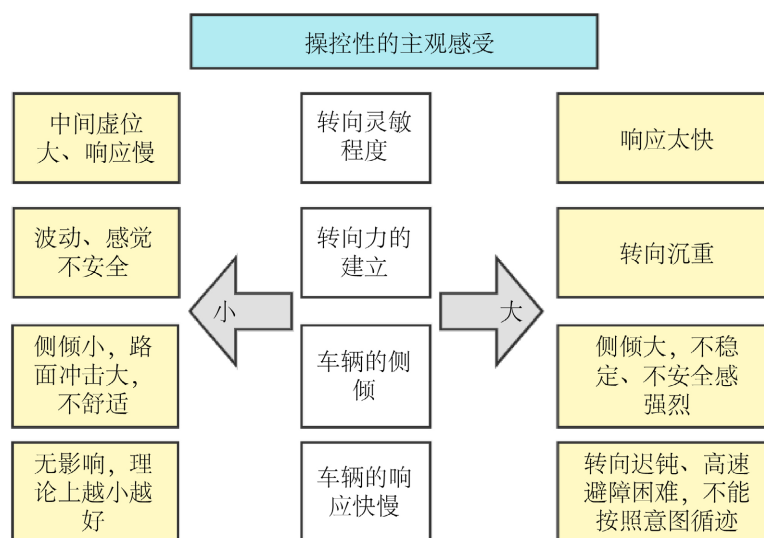


Figure 6. Subjective feeling of handling performance

图 6. 操控性的主观感受描述

由于侧向加速度响应时间与横摆角速度响应时间两个指标都表征方向控制的瞬态性能，所以选取较

容易被驾驶员感知的侧向加速度为研究对象。由于转向特性有部分指标与操稳指标重复，所以在本节没有重述。

3.2. 操稳性能客观指标选择

不同厂家对于中心区和线性区转向的指标大同小异，差别很小。本文参考了 3 家竞品公司(B1、B2、B3)的指标，结合售后客户的反馈，决定选用最小转向灵敏度等 10 个指标作为研究对象，如表 3 所示。

Table 3. Handling objective target

表 3. 操纵稳定性客观指标

操稳性客观指标		M	B1	B2	B3
中心区	最小转向灵敏度(g/100 degree SWA)	√	√		√
	转向灵敏度线性度(SS min/0.1g)	√	√		√
	转向迟滞				
	侧向加速度@0 转向力矩(g)				
	转向力矩@0 g (N·m)				
	转向力矩梯度@0 g (N·m/g)	√	√	√	√
	转向力矩梯度线性度(0.1 g/0g)	√	√		√
	转向功灵敏度				
	不足转向梯度@0.15 g·100 km/h (deg/g)	√	√	√	√
	后轴转向柔度(deg/g)		√		
线性区	侧倾梯度(deg/g)	√	√	√	√
	转向灵敏度@0.15 g (g/100 degree SWA)	√	√	√	√
	线性区范围(g)				
	侧向加速度响应时间(s)	√	√	√	
	横摆角速度响应时间(s)	√	√		√

3.2.1. 最小转向灵敏度

如图 1 所示，最小转向灵敏度 = $100/S_{\text{LOPE-MAX}}$ ， $S_{\text{LOPE-MAX}}$ 为侧向加速度 - 方向盘转角曲线斜率最大处。0.1 g 以内的最小转向灵敏度，反映了在小侧向角速度下，汽车对转向盘输入的灵敏度。

3.2.2. 转向力矩梯度线性度

转向力矩梯度的线性度(0.1 g/0g)，反映了中心区行驶时力矩的梯度变化情况，一般范围为 0.2~0.8，越接近 1，转向盘力矩梯度的线性度越好。

3.2.3. 侧倾梯度

侧倾梯度是评价汽车操纵稳定性的重要指标，反映车身侧倾的稳态性能。车辆的侧倾梯度一般在 4~8 deg/g，太大的侧倾梯度，容易让驾驶者感觉不安全、不稳定。太小的侧倾梯度，又会牺牲车辆的舒适性。

3.2.4. 横摆角速度和侧向加速度响应时间

该指标用来评价驾驶员转角输入所产生的车辆系统的转向运动响应速度的快慢。横摆角速度响应时间对于车辆的易控性、轨迹保持和躲避障碍非常重要。时间短，驾驶者感到转向迅速、及时。理论上越小越好。

3.3. 操控性能主客观关联

如表 4、表 5 所示，逐一关联了操稳的客观指标和用户的实际感受。

Table 4. On-center handling target vs. subjective feeling

表 4. 中心区操控客观指标和主观感受的对应

中心区(0~0.1 g)				
客户感受	中间虚位感(lash)	转向响应线性度	路感、中心位置感	转向力线性度，非中心位置的路感
客观指标	最小转向灵敏 (g/100°)	转向灵敏度线性 (SS min/SS@0.1 g)	侧向加速度 0 g 下转向盘转矩梯度(N·m/g)	转向盘转矩梯度线性度 (0.1 g/0g)

Table 5. Linear handling target vs. subjective feeling

表 5. 线性区操控客观指标和主观感受的对应

线性区(0~0.1 g)				
客户感受	车辆转弯方向控制的稳态性能、行驶路径保持能力	转弯时车辆的侧倾角大小，过大侧倾角度使驾驶员感觉不安全	车辆的横向加速度建立速度	反应方向控制的瞬态性能，较小的响应时间有利于车辆易控性、轨道跟踪、躲避障碍。
客观指标	不足转向梯度	侧倾梯度	转向灵敏度@0.15 g	侧向加速度/横摆角速度响应时间

4. 客观指标统计分析

本文研究了数十种车辆的操稳客观参数，对这些车辆车型按照《GB/T6323-2014 汽车操纵稳定性试验方法》完成操稳测试，为确保数据相对准确，试验场地、设备、驾驶人员均保持一致。本次测试涵盖了微型客车、SUV、皮卡和宽体轻客。经过实际驾评，确认所研究车辆的操稳客观参数与市场客户对车辆的风格反馈基本一致。如图 7~15 所示，将所研究参数进行统计研究，发现参数的分布呈现典型的运动和舒适风格。两种风格的客观指标详细定义如表 6、表 7 所示。

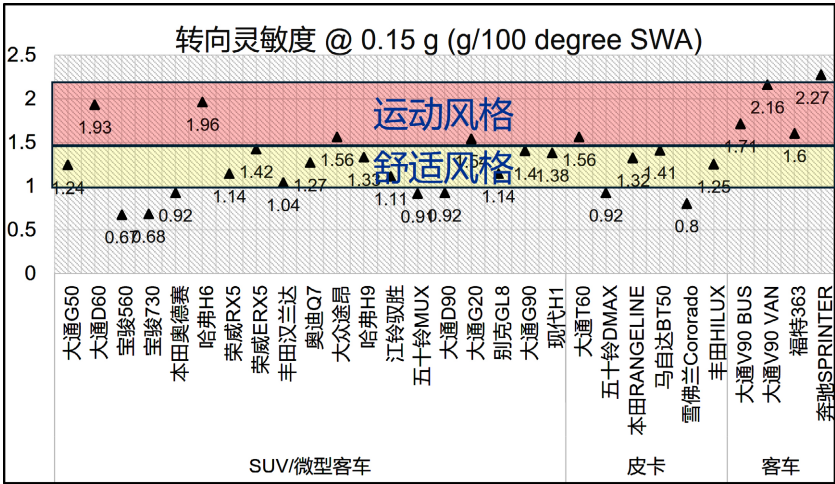


Figure 7. Style setting of steering sensitivity

图 7. 转向灵敏度风格划分

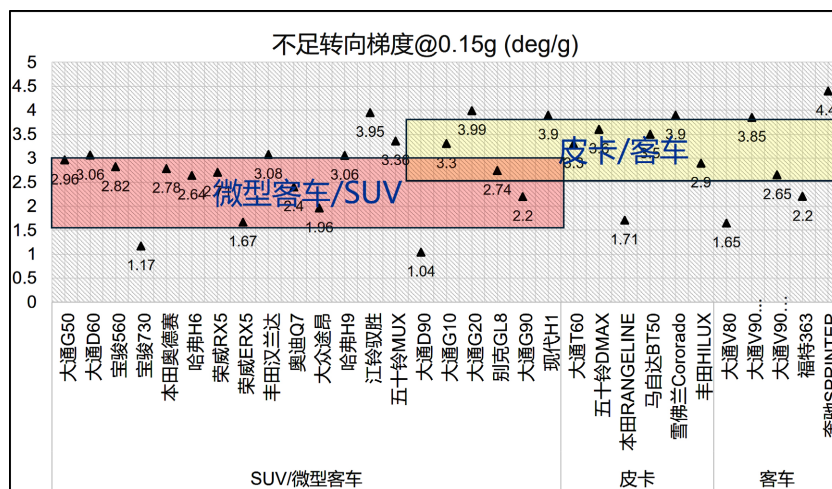


Figure 8. Style setting of understeer gradient
图 8. 不足转向梯度风格划分

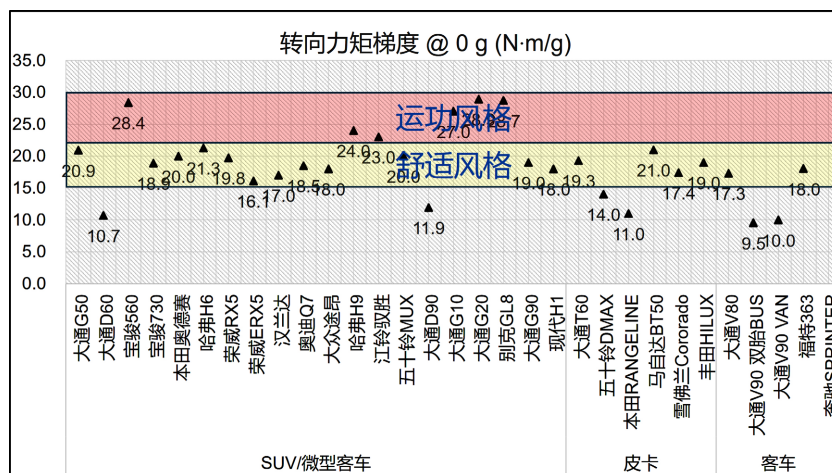


Figure 9. Style setting of steering torque gradient
图 9. 转向力矩梯度的风格划分

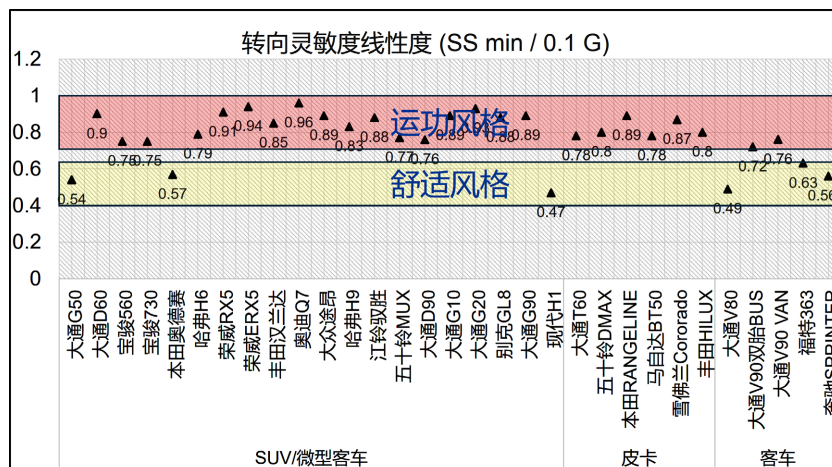


Figure 10. Style setting of steering sensitivity ratio
图 10. 转向灵敏度线性度风格划分

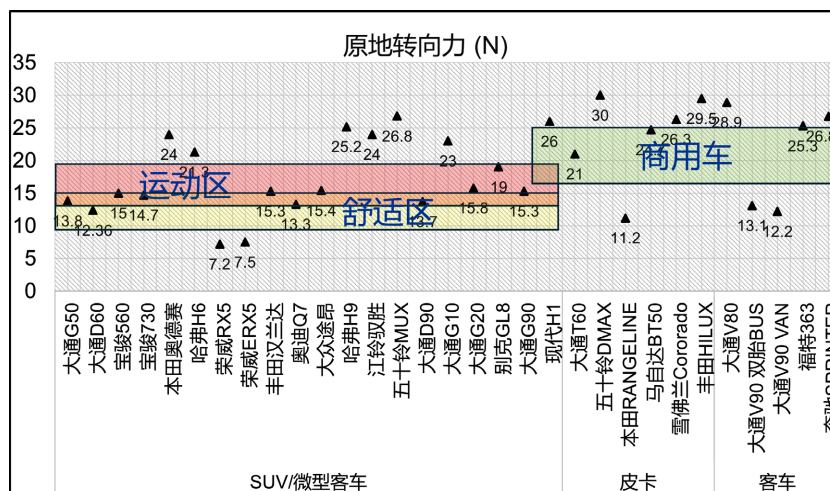


Figure 11. Style setting of parking effort

图 11. 原地转向力风格划分

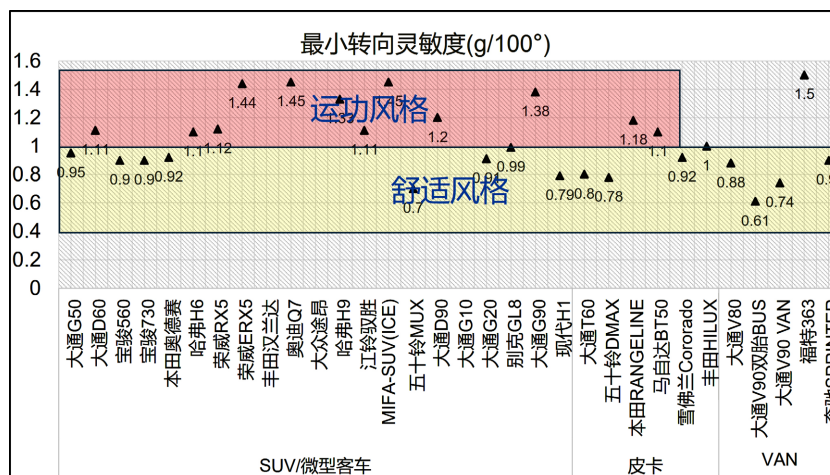


Figure 12. Style setting of minimum steering sensitivity

图 12. 最小转向灵敏度风格划分

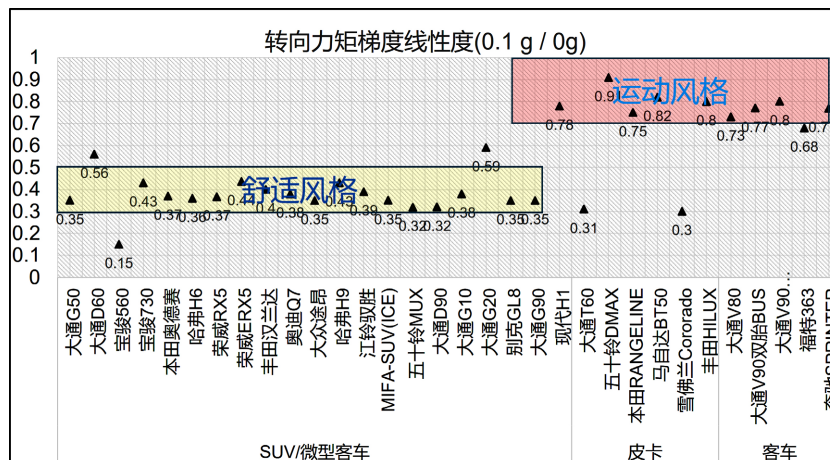


Figure 13. Style setting of steering torque gradient ratio

图 13. 转向力矩梯度线性度风格划分

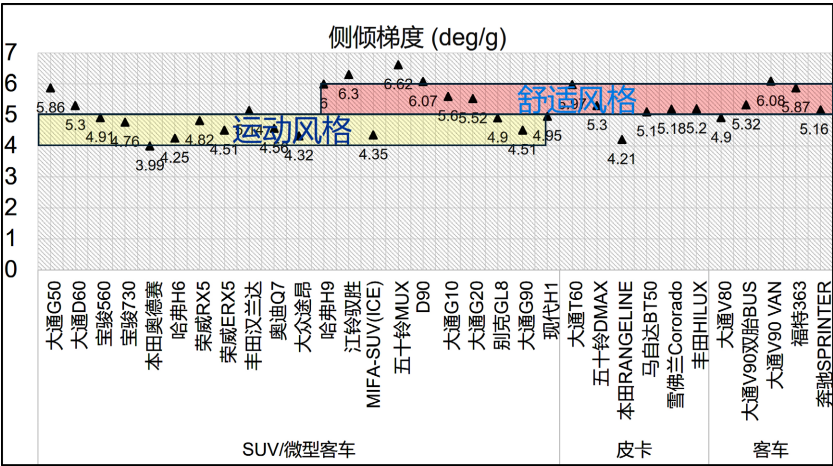


Figure 14. Style setting of roll gradient
图 14. 侧倾梯度的风格划分

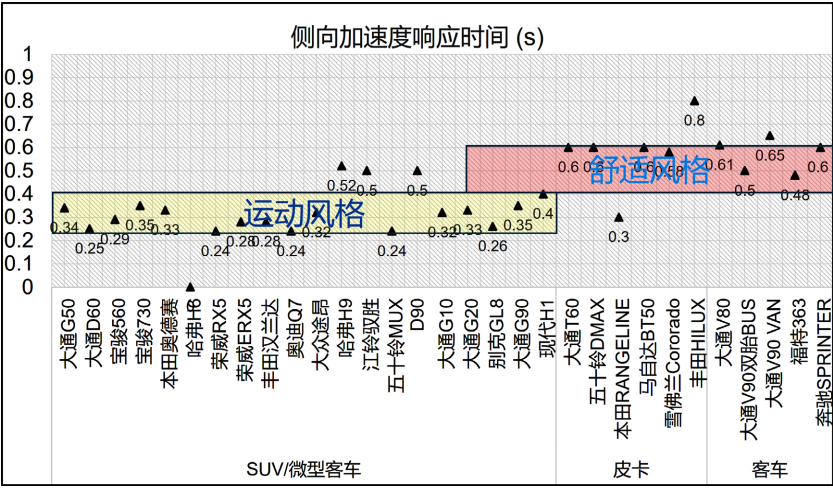


Figure 15. Style setting of lateral acceleration response time
图 15. 侧向加速度响应时间的风格划分

Table 6. Steering styles
表 6. 转向风格设定

车型	转向手感 风格	转向响应		转向响应		转向力 原地转向力 (N)
		0.15 g 的转向灵敏度 (g/100 degree SWA)	0.15 g 不足转向梯 度(deg/g)@0.15 g	0 g 转向扭矩梯度 (N·m/g)	转向灵敏度线性度 (SS min/SS@0.1 g)	
客车和皮卡	舒适	1~1.5	2.5~3.5	15~22	40%~60%	20~26
SUV/微型 客车	舒适	1~1.5	2.3~3	15~22	40%~60%	10~16
	运动	1.5~2.2	1.6~2.3	22~30	≥70%	14~20

如图 7 所示，舒适风格的转向灵敏度一般为 1~1.5 g/100 degrees SWA，超过 1.5 g/100 degrees SWA 一般认为进入了运动的风格区间。

如图 8 所示，不足转向梯度随着车型的不同而分布，不足转向梯度和转向灵敏度成反比。商用车追求更高的稳定性，一般设置 2.5~3.5 deg/g，SUV 和微型客车不足转向梯度一般在 1.6~3 deg/g，1.6~2.3 deg/g

为运动风格，2.3~3 deg/g 为舒适风格。

其他客观指标在图上标明，不一一描述。

Table 7. Handling styles

表 7. 操稳风格设定

车型	客观指标	中心区(0~0.1 g)					线性区(0.1~0.4 g)		
		最小转向灵敏度 (g/100°)	转向灵敏度线性(SS min/SS@0.1 g)	0 g 转向盘转矩梯度 (N·m/g)	转向盘转矩梯度线性度 (0.1 g/0g)	不足转向梯度(0.15 g) (deg/g)	侧倾梯度 (deg/g)	转向灵敏度 (g/100 degree SWA)	侧向加速度响应(s)
客车和皮卡	舒适	0.5~1	40%~60%	15~22	0.7~1	2.5~3.5	5~6	1~1.5	≤0.6
SUV/微型	舒适	0.5~1	40%~60%	15~22	0.3~0.5	2.3~3	4~5	1~1.5	0.3~0.4
客车	运动	≥1	≥70%	22~30	0.3~0.5	1.6~2.3		1.5~2.2	0.25~0.3

5. 结论

基于对车辆的转向及操稳主观感受及客观指标在不同车型上的分布表现研究，建立了针对不同车型的转向及操稳的运动和舒适风格定义。客车和皮卡侧重追求稳定性，而 SUV 和微型客车往往兼顾更快的车辆响应，所以两大类车型的转向及操稳的指标设定存在不同。本文研究建立的转向及操稳风格定义可以有效指导车辆性能指标的设定、指导操稳性能的底盘调校工作，有益于形成满足客户需求的品牌调性。

致 谢

十分感谢上汽集团商用车技术中心提供了操稳试验数据。

参考文献

- [1] 海森英, 等, 编. 汽车行驶动力学性能的主观评价[M]. 石晓明, 陈祯福, 译. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [2] Carriere, J. and De Carteret, D. (2011) Vehicle Handling Parameter Trends: 1980-2010. *SAE International Journal of Passenger Cars—Mechanical Systems*, 4, 772-790. <https://doi.org/10.4271/2011-01-0969>