

论文分类号 U463.82  
密 级 内 部

单 位 代 码 10183  
研 究 生 学 号 2990133

基于 CATIA 的轿车驾驶员位置优化系统

# 吉 林 大 学

## 硕 士 学 位 论 文

基于 CATIA 的轿车驾驶员位置优化系统

CATIA Based Driver Position  
Optimization System for Passenger Car

作者

作者姓名: 李 国 富

李国富

专 业: 车 辆 工 程

吉林大学

导师姓名: 宋传学 教授  
及 职 称: 黄 金 陵 教 授

论文起止年月: 2001 年 9 月至 2002 年 1 月

## 提 要

本文主要内容是根据人机工程学的理论和方法,以 CATIA 软件为支撑,利用 GH 语言和 C 语言开发了一套车身总布置系统。在该系统中包括了各种车身总布置工具(如眼椭圆、头廓包络线、手伸及界面等)和各种法规要求(如风窗玻璃刮水器刮扫面积和区域、安全带固定点位置等)。另外本文分析了 SAE 所推荐的确定驾驶员 H 点的适意线法的适用条件和不足,提出了综合考虑驾驶员舒适性、视野性、腿部操纵空间、方向盘、顶盖等因素的 H 点区域法。利用该方法可以快速、准确的确定出满足以上所有约束的 H 点优化域。

在系统完成后对于系统的实用性、可靠性等作了大量的测试,测试结果表明该系统应用灵活、操作简单、运行可靠、程序中的理论和方法与实际设计过程相吻合。本系统的完成对于提高车身总布置的质量、效率,缩短产品开发周期具有非常大的现实意义。

**[关键词]: 人机工程学      CATIA      车身总布置**

## **ABSTRACT**

The main content of the paper is to develop an Auto-body Packaging system according to the theory and method of ergonomics. This system is developed on the platform of CATIA by GII program and C program. In this system you can get all kinds of tools used in Auto-body Packaging work such as eyellipse, head contour, hand reach envelop and so on. In SAE J941 there is a method to work out the H point and we call it driver's comfort curves, we analyze the strongpoint and shortcomings and we put forward a new method to work out the H point. This method takes into account the effects of driver's comfort, visibility, steering wheel, roof and so on. With this method you can get a optimized H point zone satisfying with requests of the driver's comfort, visibility, steering wheel, roof.

We have done a lot of experiments after finished this system to validate the practicability, reliability of this system and we get excellent results. With this system you can finish Auto-body Packaging work with high speed and high efficiency, and it is very helpful to shorten develop period of a new project.

**[Key Words] Ergonomics CATIA Auto-body Packaging**

# 目 录

<b>第一章 绪论</b>	1
§1.1 CAD/CAM 技术应用	1
§ 1.1.1 国际汽车行业对于 CAD/CAM 技术的应用	-1
§ 1.1.2 国内汽车行业对于 CAD/CAM 技术的应用	2
§ 1.2 汽车车身总布置	2
§ 1.3 人体工程学在车身总布置中的应用	4
§ 1.4 本课题的国内外研究现状	-6
§ 1.5 本课题主要内容及意义	-7
§ 1.5.1 本课题主要内容	-7
§ 1.5.2 本课题的研究意义	-7
§ 1.6 本章小节	8
<b>第二章 轿车车身总布置工具</b>	9
§ 2.1 驾驶员眼椭圆	-9
§ 2.2 乘员及驾驶员的头廓包络线	12
§ 2.3 驾驶员手伸及界面	-13
§ 2.4 轿车前风窗玻璃刮水器刮扫面积及位置	17
§ 2.5 安全带固定点位置	-19
§ 2.6 轿车车身硬点数据库	-22
§ 2.7 本章小结	-23
<b>第三章 驾驶员 H 点设计与优化</b>	-24
§ 3.1 H 点及其意义	-24
§ 3.1.1 H 点的定义及不同表达方式	-24
§ 3.1.2 H 点在车身设计中的意义	-25

§ 3.2 H 点的确定方法	-----25
§ 3.2.1 SAE 推荐 H 点适意线方法	-----25
§ 3.2.2 H 点功能区域法	-----29
§ 3.2.3 H 点的优化	-----53
§ 3.2.4 H 点的选择	-----55
§ 3.2.5 SAE 适意线与 H 点区域法比较	-----56
§ 3.3 本章小结	-----57
<b>第四章 系统应用实例</b>	-----60
§ 4.1 确定最后、最前 H 点	-----69
§ 4.1.1 SAE 推荐驾驶员 H 点适意线方法	-----61
§ 4.1.2 全关节角度变化时的 H 点区域法	-----61
§ 4.1.3 $\alpha_4 = 87^\circ$ 条件下的 H 点区域法	-----68
§ 4.2 前风窗刮扫区域	-----70
§ 4.3 安全带固定点	-----70
§ 4.4 本章小结	-----72
<b>全文总结</b>	-----73
<b>致谢</b>	-----75
<b>参考文献</b>	-----76
<b>摘要</b>	----- I
<b>ABSTRACT</b>	----- V

# 第一章 绪论

## § 1.1 CAD/CAM 技术

CAD/CAM 技术的应用水平是衡量一个国家汽车工业水平的重要指标之一。汽车工业作为国家支柱产业，一直是 CAD/CAM 技术应用的先锋和大户。CAD/CAM 技术的不断发展和广泛应用，不仅仅在于它能提高产品的质量和缩短产品的周期，更主要的是：CAD/CAM 技术是当代最杰出的工程技术成就之一。它从根本上改变了过去用手工绘图、依靠图纸组织整个生产过程的技术管理模式。因此，它对传统产业的改造、新兴技术和产业的兴起和发展，均能产生巨大的推动作用。进入 90 年代后，国际市场的竞争更加激烈，汽车公司对 CAD/CAM 技术的需要更加迫切。为此，世界上很多国家和汽车公司都把发展 CAD/CAM 技术集成化作为它们的战略目标。

### § 1.1.1 国际汽车行业对于 CAD/CAM 技术的应用

国际上，美国福特汽车公司在 CAD/CAM 技术方面处于领先地位。早在 80 年代初，福特公司就着手 CAD/CAM 系统的规划，建成了以工作站为主体的环形网络系统。1985 年已经有一半以上的产品设计工作使用图形终端实现，1986 年新开发的 TARUS 和 SABLE 轿车，大约 70% 的外板件采用 CAD/CAM 设计，90 年代初全面实行产品开发的 CAD/CAM 应用可达 100%。福特公司 1990 年工作站已达 2000 台，以 FGS 工作站（约占 70%）和 CV 工作站（约占 18%）为主，其应用软件主要为自行开发的 PDGS 和 CAD/CAM。1993 年以后，福特汽车公司提出了 C3P（CAD/CAM/CAE/PDM）概念，并决定今后将采用 I-DEAS 软件作为其主流核心软件。美国通用汽车公司应用 CAD/CAM 技术的情况与福特类似，其硬件主要为 APPLD、SUN、HP、IBM、DEC 的产品；软件主要为自行开发的 CGS（CorporateGraphicsSystem），CADAM 公司的 CADAM 系统和 MCD 公司的 Unigraphics 系统，这三种软件系统构成公司的三维 CAD/CAM 数据库基础，以供全部设计、工程和制造使用。该公司采用 CAD/CAM 进行产品的设计制造，CAD 软件与 CAM 软件用以太网相连。日本三菱汽车公司 1960 年从冲模的数控加工着手，以 CAD/CAE/CAM 为动力，对从设计到制造的各项工程踏踏实实地进行了改革，至今，已形成了从车型款式设计到车身组装的新车型开发的完整的 CAD/CAE/CAM 系统。法国雷诺汽车公司应用 EUCLID 软件系统作为 CAD/CAM 的主导软件，目前已有 95% 的设计工作量用该软件完成。

雷诺公司在 EUCLID 主导软件的基础上, 开发出很多适合汽车工业需求的模块, 如用于干涉检查的 Megavision, 用于钣金成型分析的 OPTRIS 等。德国各大汽车公司普遍采用 CATIA 作为其 CAD/CAM 系统的主导软件。1994 年, 德国大众集团决定用 CATIA 和 Pro/Engineer 作为其将来开发新车型的主导 CAD 系统。

### § 1.1.2 国内汽车行业对于 CAD/CAM 技术的应用

我国的 CAD/CAM 产业的发展大致从 1975 年开始, 经历了三个发展阶段。第一阶段从 1975 年到 1986 年, 其主要工作为 CAD/CAM 技术的研究, 参与人员主要在大学和科研院所, 产业特征是产生了一批 CAD/CAM 的著名学者并培养了 CAD/CAM 的后备力量; 第二阶段是 1986 年到 1992 年, 其主要工作是 CAD/CAM 技术的深入研究和原型(试验)系统的开发, 参与人员主要在大学和科研院所, 产业特征是产生了若干的试验性系统; 第三阶段是 1992 年到现在, 主要工作已经从单纯的研究开发拓展到营销、咨询服务及大面积应用, 已经是全社会参与, 包括政府、院校、中介结构和企业等, 产业特征是产生了 CAD/CAM 产品, 形成了 CAD/CAM 软件产业的市场。现在我国的一些企业, 如一汽、二汽、上汽等, 已建立起了比较完整的 CAD/CAM 系统。许多中小汽车生产厂家应用 CAD/CAM 技术在保证产品质量、提高劳动生产率等方面也取得了显著的经济效益。一些科研院所陆续推出了一批 CAD/CAM 软件, 并得到了一定的应用, 如吉林工业大学开发的车身总布置系统。总的说来, 国内汽车行业在 CAD/CAM 技术应用的深度和广度等方面与国外先进水平相比还有很大的差距, 尤其在 CAD/CAM 集成应用等方面的工作还刚刚开始。随着社会主义市场经济的发展, 国有汽车生产厂家需要对传统的产品结构、生产设备和管理模式进行改造, 以提高企业的活力和适应市场的应变能力。其中, 首当其冲的是进行产品结构的调整, 提高产品的技术档次, 缩短新产品的开发周期, 提高产品的设计质量, 降低物耗和造价。要实现上述目标, 采用 CAD/CAM 技术被认为是最有效的方法之一<sup>[1][2][3]</sup>。

## § 1.2 汽车车身总布置

汽车车身总布置属于汽车设计中的一部分, 它是在整车总布置的基础上进行的。整车的总布置提供了汽车的长、宽、高等控制尺寸、轴荷分布范围以及水箱、动力总成、前后桥、传动轴与车轮等的轮廓尺寸和位置。据此参考同类车型有关数据作为借鉴, 即可初步确定前悬和后悬的长度, 前后风窗位置和角度、发动机罩高度、地板平面高度、前围板位置、座椅布置、内部空间控制尺

寸、方向盘位置角度及操纵机构和踏板的相互位置等。然后将布置结果传递回底盘总布置和造型，进行校核、协商、修改。汽车车身总布置是汽车整个设计流程的入口，只有确定了总布置方案后，才能进行汽车各部件的详细设计。因此车身总布置的好坏，在很大程度上决定着整个汽车设计的成败<sup>[4]</sup>。

汽车车身总布置是汽车概念设计阶段的一项相当重要的方案设计工作。在汽车车身总布置过程中，需要确定的特征参数和控制硬点繁多，空间关系和约束条件复杂，实现方法和评价指标模糊，设计方案具有多解性、经验性和综合性的特点。如何高效地进行汽车车身总布置，应当是整个汽车周期中急需解决的一个环节。汽车车身总布置的设计流程，是相当复杂的设计过程。在 SAE J1100 中定义了三百多个硬点信息来控制整车总布置，其中控制整车外形和第一排、二排驾驶和乘坐空间的主要硬点信息就有 70 多个。此外，这些硬点信息之间又具有复杂的关联性。因此车身总布置是一个不断反复、迭代修改、寻求到最佳折衷方案的设计过程。

汽车车身总布置应遵循一定的设计原则：

- 外部尺寸尽量小，内部空间尽量大
- 满足各项功能要求
- 满足人机工程学要求
- 满足法规标准及技术条件要求

在实际设计过程中，一般采用由内到外和由外到内两种设计方法<sup>[5]</sup>。这两种方法有其自身的特点，适用于不同的设计条件。

## ● 从内到外法（Inside-out Approach）

从内到外设计方法简单地说，即是人的位置定义到车身定义(Postural Definition to Vehicle Definition)<sup>[6]</sup>。SAE 有关标准推荐的眼椭圆、头廓包络线、手伸及界面等都说明了以 H 点为核心的从内到外的布置方法。这些标准都是基于一个思想：从一些布置工具(如眼椭圆等)的创建和定位来一步一步地定义驾驶员和乘员的乘坐空间和车内附件件的布置，这也是从内到外布置方法的基本思想。具体实现过程如下：

- 1、由 SAE 推荐的适意线或区域法来确定不同百分位人体模型的 H 点位置；
- 2、确定座椅参考点(SgRP)的位置、座椅靠背角和座椅调节行程；
- 3、调用头廓包络线，结合内部空间控制尺寸，确定顶盖的位置以及完成对车身内部宽度的确定；

- 4、调用眼椭圆、手伸及界面等设计布置工具设计仪表盘的断面形状及其操纵件的布置；
- 5、而后进行方向盘、操纵机构、踏板等的布置；
- 6、进行驾驶员的视野设计；
- 7、前后风窗玻璃的设计和后围的布置等。

对于上述的步骤，并不是严格的、固定不变的过程，在真正的布置中，它们往往是反复交叉进行。

### a) 从外到内法（Outside-in Approach）

从内到外的布置方法实际上是一种从零开始的设计方法，是一个反复设计和检验的过程。当今，随着市场全球一体化以及商业竞争的日益激烈，反复冗长汽车开发周期和昂贵的成本是不允许的。现在的汽车设计，一般在参考同类型车或基于某一平台的基础上，运用专家设计经验，进行变型车设计，这就是从外到内的布置方法。如在不对乘员空间做改动的前提下，布置合理地满足舒适性、视野性、操纵方便性的座椅<sup>[7]</sup>。

## § 1.3 人体工程学在车身总布置中的应用

人体工程学是从 20 纪 50 年代开始迅速发展起来的一门新兴的边缘学科，是从人的生理特点出发，研究在提高人体—机器—环境系统的总体效能的目标中，人体—机器—环境相互关系的一门科学<sup>[8]</sup>。人机工程学的主要研究内容包括：

1：机器系统中直接由人操作或使用的部件，应设计成适合于人的使用，以保证机器系统的工作效能达到最优。

2：从保证人的安全、健康、舒适和高工作效率出发，提出环境控制和安全保护装置的设计要求与数据。

3：人机系统总体设计的优化。

我国的人机工程学正处于初始发展阶段。由国家标准局标准化研究所主持，成立了全国工效学标准化技术委员会。1985 年成立了全国工业造型设计学会，下设人机工程专业委员会。各行业对人机工程学的应用研究越来越重视，有关的研究机构和高等院校也在开展人机工程学方面的研究。各项人机工程学的技术标准也在陆续制定。

指导汽车车身总布置设计的核心理念是“人—机—环境”思想。在人—机—环境理论中，“人”是作为主体；“机”是指人所控制的一切对象的总称；“环

境”是指人、机共处的特殊条件，它即包括物理、化学因素的效应，也包括社会因素的影响。在汽车车身总布置设计系统中，“人”对应为驾驶员和乘员；“机”对应为驾驶员和乘员操作控制的对象，如方向盘、踏板、变速杆、制动手柄以及操作钮件等的控制对象集；“环境”对应为驾驶员和乘员乘坐的空间，车身外型控制以及光线、道路等外部因素。汽车车身总布置采用“以人为中心”的设计思想，尤其是在轿车设计中，确保驾驶员与乘员的舒适性、居住性、上下车方便性、安全性，以及驾驶员的操纵方便性、视野性等非常重要。

根据对国内、外有关文献的分析研究，在汽车设计中应当考虑的人体因素大致可归纳为以下四个方面：

### **1: 人体尺度**

人体尺度的静态和动态测量数据，是合理设计操纵者的作业空间、操作姿势、操纵机构及座椅尺寸的基础。只有考虑人体尺度的精心设计，才能使操纵者工作时处于舒适的状态和适宜的环境之中，达到能量消耗最少、疲劳程度最低和工作效率最高的目标。在汽车的总布置设计中，方向盘、座椅的设计及布置、各种操纵件的布置、汽车顶盖的设计都要考虑到人体尺度的因素。人体工程学上的百分位主要是根据人体尺寸的不同来定义的。

### **2: 人体的生物力学特性**

设计适合于驾驶员的操纵机构以及确定合理的操纵力、操纵速率、操纵位移、操纵节拍、操纵准确度等，都必须以人体的生物力学特性为依据，方能实现人机关系的最优匹配。例如在踏板布置过程中必须考虑人的脚蹬力与坐姿的关系。

### **3: 人的感知反映特性**

人的感知反映过程实质上就是向人体的信息输入、传递和人对信息的分析、处理并做出反应的过程，是人体—机器—环境系统的中心环节。它关系到人和机器的安全、人的健康和舒适、操纵质量及作业效率等一系列问题，是机器设计所必须认真考虑的最重要的因素。汽车仪表板的设计及布置、前风窗的设计等都要考虑人的感知反映特性。

### **4: 人的适宜劳动姿势**

驾驶员在工作中保持舒适、自然和方便操作的劳动姿势，将有利于身体健康，有助于减轻疲劳、提高工作质量和劳动效率。因此，汽车设计时必须首先

确定驾驶员的工作姿势和体位，然后按照保持人的最适宜的劳动姿势的要求，合理进行总布置设计和相关部件的设计。

在驾驶员—汽车—环境系统中，驾驶员是人机工程所研究的核心对象。其中驾驶员的主要职能是：

- 用手和脚操纵各种操纵机构以操纵汽车和各种功能部件
- 观察汽车和各种功能部件的工作情况，监控它们的技术状态
- 观察汽车以外的环境，确保行车的安全
- 确定合理而有效的作业任务操作顺序

## § 1.4 本课题的国内外研究现状

国外对汽车人体工程学的研究起始于本世纪五十年代，并且已经做了大量的测绘、分析和基础性研究工作。尤其是美国提出了很多推荐标准，有的已被国际标准组织所采用，如三维 H 点人体模型、眼椭圆等。国外汽车设计行业对于人体工程的应用极为重视。如日本、美国等在设计新车型时都要做相应的人机工程检查和校核，并且抽取不同的人群进行主观评价。德国大众开发的 RAMSIS 软件建立了详细的三维人体模型，从德国到 SAE 等，并提供各种年限参考。用户还可以根据自己的数据建立自己的三维人体模型。

我国人机工程学的研究起步比较晚，但也做了一些基础性工作，如对人体尺寸的测量统计和分析<sup>[14][15][16]</sup>。这些都对中国人机工程学的研究起到了一些推动作用。但我国的人体测量数据没有随着时间的变化和社会的发展得到及时的更新，在 GB10000-1988 中的某些数据已经不适合于当今社会人体尺寸的实际情况，因此我国的人体工程学研究还有待于更加进一步的深入和发展。

我国的大部分汽车行业依旧沿用传统的设计方法，虽然在硬件条件上已经实现了 CAD，但大部分的 CAD 软件由于各方面原因的限制没有真正发掘 CAD 巨大潜力以提高设计、开发效率。因此我国汽车行业的现状势必造成人力、物力资源上的浪费。所幸的是国内的一些大学和科研院所经过数年的研究和积累工作，已经形成了一套完整的汽车车身内部布置理论和方法<sup>[1][2][3]</sup>，并完成在数个 CAD 平台上的开发工作。有的汽车厂家做的开发，也是在这一理论和方法的基础上的进行的。吉林工业大学已经在 AUTOCAD、EUCLID、I-DEAS 等平台上完成了该车身总布置系统。现根据 CATIA 在国内汽车行业的广泛应用情况需要以 CATIA 作为平台开发车身总布置系统。

## § 1.5 本课题主要内容及意义

### § 1.5 本课题主要内容

本课题的主要工作是在 CATIA 软件平台上进行二次开发，以建立实用的车身布置系统，主要有三大部分，本人完成的主要是第二部分，即以 H 点为中心的车身内部布置设计系统。对于该部分上一级师兄已经作了一定的探讨，本人主要是在此基础上做进一步研究，使该部分更加完善，更加符合实际设计过程。主要内容包括：

1、 适意 H 点的研究和 H 点优化方法。其中，H 点优化从五个方面对 H 点进行约束，分别为：

- 舒适性约束
- 方向盘的约束
- 视野的约束
- 顶盖的约束
- 操作空间的约束，主要考虑小腿空间(L34)

2、 汽车内部布置工具建立，主要包括：

- 安全带规定的位置
- 轿车前风窗雨刮器刮净率校核
- 驾驶员手伸及界面创建及校核
- 轿车车身硬点数据库

整个系统是基于 CATIA 平台而建立的。在系统开发过程中，到企业作了大量的调研工作，以使该系统更加符合实际设计过程。在系统完成后，做了大量的实例，并对系统进行了测试。

### § 1.5 本课题的研究意义

1、 国内的汽车车身内部布置大部分还是照搬国外的技术，本软件的建立对

国内进行自主开发的能力的提高起到推动和借鉴作用。

2、 国内的好多汽车厂家应用的 CAD 软件大多是通用的设计软件，在用来进行车身内部布置时，除了将手工的工作搬到计算机上并无什么区别。这样，

设计的效率还是非常低、劳动强度还是非常大。本软件的开发，可以在一定程度上对车身内部布置实现自动化，对于提高设计效率、降低劳动强度都是非常有帮助的。

3、本系统是以 CATIA 软件作为开发平台，由于国内不少大汽车厂和研究机构都以 CATIA 作为主流设计软件，故软件的开发适应当前国内形势的需要。

4、本系统的完成是企业 and 大学产、学、研结合的成果，是开发者多年研究工作的积累，它对国内汽车人机工程学的研究和汽车车身内部布置系统的实现起到很大的指导作用和提高作用。

## § 1.6 本章小节

在本章中对于国际、国内汽车行业 CAD/CAM 技术的发展和应作了简要的叙述，对于人机工程学在车身总布置中的应用也作了扼要的简述。从汽车车身总布置的主要内容、CAD/CAM 技术的优势等角度阐述了在 CATIA 上进行汽车车身总布置系统开发的必要性。该系统对于国内 CAD/CAM 技术在汽车车身上的应用和汽车车身总布置技术的研究和发展具有现实的意义。

## 第二章 轿车车身总布置工具

轿车车身总布置是在整车总布置的基础上进行的，其指导思想是“以人为本”。在轿车设计中，车身内部布置应当能够满足驾驶员和乘员的乘坐舒适性、操纵性、行车安全性、视野性等。为保证各项性能指标具有统一的规范和标准，SAE、ISO、GB 等组织中对于车身总布置工具中常用的工具等制定了一定的规范，如眼椭圆、手伸及界面等。对于一些车身附件在车身中的布置位置和功能作了一定的规定而作为法规实施，如雨刮器的刮扫面积、安全带固定点的位置等。本系统将这些法规作为设计工具集成在 CATIA 系统中，使用时既可以应用它们来布置附件和控制布置空间尺寸，也可以应用它们来对已布置好的附件进行校核。为了方便设计者在设计过程中查询相关车型的设计硬点值，系统中开发了轿车车身硬点数据库，集成在 CATIA 界面下作为设计参考。应用该数据库可以实施在线查询，从而方便设计过程以提高设计效率。

### § 2.1 驾驶员眼椭圆<sup>[12]</sup>

#### 1. 眼椭圆定义

汽车驾驶员眼椭圆是指不同身材的驾驶员按自己的意愿将座椅调整到适意位置，并以正常的驾驶姿势入座后，他们的眼睛位置在车身坐标系中的统计分布图形。由于统计分布图形呈椭圆状，因此被称为驾驶员眼椭圆。驾驶员眼椭圆的确立为研究汽车视野性能提供了科学的视野原点基准。

#### 2. 眼椭圆的提出

以往，在汽车驾驶员的视野校核中，以平均身材的驾驶员的眼睛位置作为基准。由于驾驶员的身材、坐姿及驾驶习惯的不同，视野原点不可能是一个点，故上述方法只能满足中等身材的人的需要，缺乏统计意义。在实际中视野原点不是某个固定的点，而是呈某种形状的分佈图形。为此，人机工程学研究人員及車身設計師從 60 年代中期就開始研究這一問題。其中以美國福特汽車公司的洛依 (R.W.Roe) 及通用汽車公司的哈蒙特 (D.C.Hammond) 等人的研究最為突出。其研究成果成為美國汽車工程師協會 SAE 的推薦實施標準 SAE J941。後來

国际标准组织引用美国 SAE J941 制定了国际标准 ISO4513。因此眼椭圆所代表的是所有人群的视野性。眼椭圆的形状如图 2-1 所示。

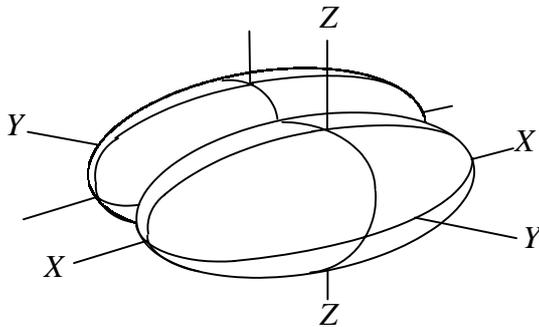


图 2-1 三维眼椭圆示意图

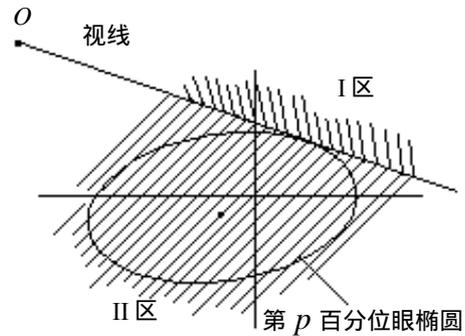


图 2-2 眼椭圆视切比的意义

### 3. 眼椭圆的含义

**视切比：**如图 2-2 所示，由某目标点向某百分位眼椭圆作一切线（视线）。切线将图形分为上下两方，即含眼椭圆一方（I 区）和不含眼椭圆的另一方（II 区）。被测驾驶员的眼睛在切线上下两方均有散布。视切比定义为含眼椭圆的切线一方的区域内的眼睛数与切线上下方区域内的眼睛总数之比，记作  $p$ 。这样落在含眼椭圆一方的眼睛数百分比为  $p \times 100\%$ ，落在不含眼椭圆一方的眼睛数百分比为  $(1 - p) \times 100\%$ 。

眼椭圆是汽车视野设计的基准，它只有与视线（切线）一起使用时方有意义。因此用视切比来定义眼椭圆的百分位值。如图 2-3 所示，设该眼椭圆为第 95 百分位的眼椭圆，由目标点  $O$  相眼椭圆作视线，则意味着有总数 95% 的眼睛位于该视线的下方，另有 5% 的眼睛位于该视线的上方。即有 95% 的人群可以通过该视线下方看到目标  $O$ ，而有 5% 的人群则不能通过该视线下方看到目标  $O$ 。

### 4. 眼椭圆样板及其定位

眼椭圆样板的尺寸与人体百分位及座椅水平调节行程 ( $L23$ ) 有关，根据座椅水平调节行程的不同，将其分为两套。一套为  $L23$  在 100mm

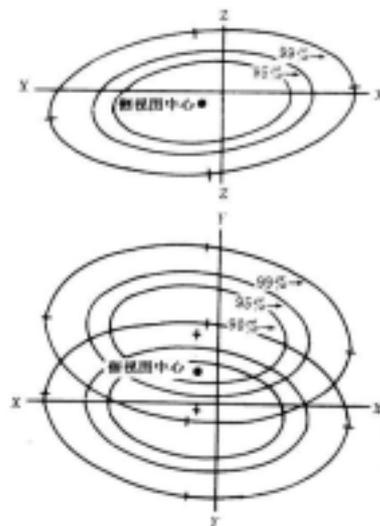


图 2-3 定位后的驾驶员眼椭圆

和 133mm 之间时的眼椭圆，另一套为 L23 大于 133mm 时的眼椭圆。眼椭圆的尺寸数据如表 2-1 所示。

车身总布置中，在已知 SgRP 点、座椅水平行程和座椅靠背角的条件下，便可唯一的定位眼椭圆。眼椭圆的尺寸与座椅水平调节行程有关，而眼椭圆在车身坐标系中的位置与座椅靠背角有关。

表 2-1 眼椭圆的三维尺寸列

项目	第 95 百分位		第 99 百分位	
	100<L23<133	L23>133	100<L23<133	L23>133
长轴	173	198	241	267
短轴	俯视	105	149	149
	侧视	86	122	122

根据 SAE J1100 中的规定，设 SgRP 在车身坐标系中的坐标为  $(L31, W20, H70)$ ，座椅水平调节行程为 L23，座椅靠背角为 L40。则根据这些参数我们可以得到左右眼椭圆中心在车身坐标系中的坐标为：

■ 当  $L23 > 133$  时

$$\begin{cases} X_{LC} = X_{RC} = L31 - 259.91472 + 10.281641 \times (L40) - 0.032032 \times (L40)^2 \\ Y_{LC} = W20 - 32.5 \\ Y_{RC} = W20 + 32.5 \\ Z_{LC} = Z_{RC} = H70 + 653.71757 + 0.398747 \times (L40) - 0.059301 \times (L40)^2 \end{cases} \quad (2-1)$$

■ 当  $100 < L23 < 133$  时

$$\begin{cases} X_{LC} = X_{RC} = L31 - 247.71472 + 10.231641 \times (L40) - 0.032032 \times (L40)^2 \\ Y_{LC} = W20 - 32.5 \\ Y_{RC} = W20 + 32.5 \\ Z_{LC} = Z_{RC} = H70 + 655.01757 + 0.398747 \times (L40) - 0.059301 \times (L40)^2 \end{cases} \quad (2-2)$$

眼椭圆中心的位置确定后，将眼椭圆绕其短轴（Y 轴）旋转  $-6.4^\circ$ ，再绕其竖轴（Z 轴）旋转  $-5.6^\circ$ ，这样就完成了驾驶员眼椭圆在车身坐标系中的定位。

## 5. 眼椭圆的应用

汽车行驶时 80% 以上的交通信息是通过驾驶员的视觉得到的，驾驶员的视

觉通道是最重要的信息通道。由于驾驶员眼椭圆代表了一定群体的驾驶员在正常驾驶位置时眼睛在车身坐标系中的分布，因此，在汽车设计时可以用眼椭圆来衡量和评价驾驶员视野性的好坏。其应用大体可以分为如下几种：

- 汽车前风挡玻璃及除霜部位的确定
- 汽车风窗遮阳带位置的确定
- 汽车后视镜位置设计及视野校核
- 计及眼睛与头部转动时车身 A、B、C 立柱盲区的求作
- 汽车仪表板盲区的求作

## § 2.2 乘员及驾驶员的头廓包络线<sup>[13]</sup>

### 1. 平均头廓线

平均头廓线是由美国工程师协会（SAE）根据第 50 百分位身材的男女驾驶员及乘员头部特征点在车身坐标系中的位置统计而得出的两条圆弧（侧视图、后视图），用于表示乘坐状态下的头部外廓线。如图 2-4 所示。

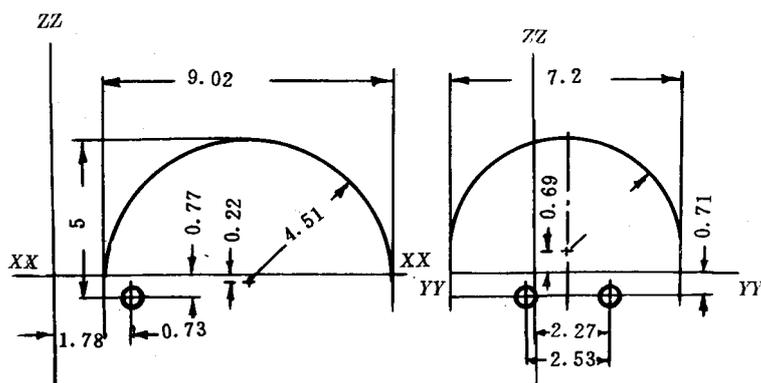


图 2-4 SAE 平均推荐头廓线

图中的坐标轴 X, Y, Z 是头廓线的自身坐标系，也就是绘制眼椭圆时所用的自身坐标系，或者说眼椭圆样板上的自身坐标系与头廓线样板上的自身坐标系是同一坐标系。这是因为头廓包络线是以眼椭圆为轨迹而形成。

### 2. 头廓包络线

头廓包络线是指不同百分位的驾驶员和乘员在乘坐状态下，他们头廓线的包络线。将头廓线样板上的眼点沿着眼椭圆样板上的上半部眼椭圆运动，并保持两样板上的自身坐标系平行，描绘出头廓线运动时的包络线便是头廓包络线。

由于头廓包络线是以眼椭圆为基准而生成的，而眼椭圆的长短轴因身材百

分位及 H 点水平行程的不同而有异，因而头廓包络线是有许多条的。头廓包络线分为两种形式，一种为座椅可调节式的头廓包络线，另一种为座椅不可调节式的头廓包络线。前者适合驾驶员的头部位置和头顶空间的设计，后者适合于后排乘员的头部位置和头顶空间的设计。头廓包络线的形式如图 2-5 所示。

(1) 不可调节式 (2) 可调节式, L23=127mm

图 2-5 头廓包络线侧视图

### 3. 头廓包络线的定位

与眼椭圆一样，头廓包络线的定位也有 A 类车和 B 类车之别。在此仅讨论 A 类车的头廓包络线定位。

头廓包络线根据座椅的调节形式可以分为座椅可调式和座椅不可调式。对于可调节座椅布置，根据头廓包络线的形成方法可知，其定位方法与眼椭圆的定位方法基本相同：根据 H 点水平行程和驾驶员百分位确定相应的头廓包络线及头廓包络线的定位中心后，就可根据样板在车身坐标系中定位头廓包络线。对于座椅不可调节式座椅，其定位公式如下：

$$\begin{cases} X_{HC} = L31 + 122.7 + [-237.0147 + 10.28164 \times (L40) - 0.032032 \times (L40)^2] \\ Y_{HC} = W20 \\ Z_{HC} = H70 + 650 + [27.11757 + 0.398747 \times (L40) - 0.0593013 \times (L40)^2] \end{cases} \quad (2-3)$$

### 4. 头廓包络线的应用

头廓包络线主要用于确定驾驶员和乘员的头部空间，以便校核或设计顶盖高度和宽度。SAE 为此定义了两个关键尺寸 H61、H63，分别为前排座椅有效头部空间尺寸和后排座椅有效头部空间尺寸。根据有效头部空间（经验值：H61 介于 900~950mm 之间，H63 比 H61 略小 20mm<sup>[14]</sup>）、顶盖内饰板厚度（经验值：15~25mm）以及顶盖造型，就可以由外向至内的确定 H 点高度，也可以进行由

内至外的顶盖高度设计。

## § 2.3 驾驶员手伸及界面<sup>[15]</sup>

### 1. 驾驶员手伸及界面的概念

关于汽车驾驶员手伸及界面及其应用,国际标准组织已经制定了有关标准。国际标准 ISO3958 对车内操作杆件、控制钮件、开关等的合理布置及检验作了详细的说明,对指导汽车车身内部布置具有重要的意义。汽车驾驶员的手伸及界面是指驾驶员以正常驾驶姿势坐在座椅中、身系安全带、一手握住方向盘时另一手所能伸及的最大空间界面。

驾驶员的手伸及界面是在实验室内手伸及界面测量台上测得的,测量杆的手接触端采用的是一 25mm 的三指抓捏式操作钮件。因此在利用手伸及界面对车内操作钮件进行伸及性校核时,应根据操作钮件的型式进行一定的修正。如指点式钮件的伸及范围应比抓捏式的往前加长 50mm;手推式钮件的伸及范围要比指点式的往后缩短 50mm<sup>[16]</sup>。实验结果表明,驾驶员手伸及界面是形如椭球的空间曲面。如图 2-6 所示。

图 2-6 手伸及界面的形状

图 2-7 手伸及界面在车身中的位置和形状

### 2. 影响驾驶员手伸及界面的相关因素

驾驶员在正常坐姿下,由于安全带的约束、踵点支承及方向盘的限制,其最大伸及空间曲面——手伸及界面与驾驶员自身的伸及能力有关,另一方面还必然如驾驶室的内部设计尺寸有关。对于驾驶员自身的伸及能力的影响可通过选择各种百分位身材和不同男女驾驶员比例的办法加以考虑。而驾驶室内部设

计尺寸对手伸及界面的影响需要利用多元统计分析理论来反映。研究证明，对手伸及界面有显著影响的驾驶室内尺寸在分析初期可取以下的九项：

- $H_X$ —H 点至加速踏板踵点的水平距离，mm
- $H_Z$ —H 点至加速踏板踵点的垂直距离，mm
- $\beta$ （或 BA）—靠背角，deg
- $H_T$ —H 点的水平行程，即座椅水平调节量，mm
- $\alpha$ （或 WA）—方向盘倾角，deg
- D—方向盘直径，mm
- $W_X$ —方向盘中心至 H 点的水平距离，mm
- $W_Z$ —方向盘中心至 H 点的垂直距离，mm
- $P_A$ —臀部角，deg

以上这些尺寸因车而异，所以是多维变量。对于这类变量问题，工程中常用因子分析法来找出反映上述尺寸影响的综合因子，在此我们称为驾驶室综合因子 G。通过一系列的处理过程，我们可以得到驾驶室综合因子 G 表达式为：

$$G = 0.0018 \cdot H30 - 0.0197 \cdot L40 + 0.0027 \cdot W9 + 0.0106 \cdot H18 - 0.001 \cdot L11 + 0.0024 \cdot H17 + 0.0027 \cdot \gamma - 3.0853 \quad (2-4)$$

### 3. 驾驶员手伸及界面的数学描述

表 2-2 手伸及界面数学描述列表举例

H 点高度 (mm)	驾驶员中心线外测							驾驶员中心线内测								
	400	300	250	200	100	50	0	0	50	100	200	250	300	400	500	600
800	387	438	456	470	490	490	502	493	501	504	495	483	468	426	377	
700	463	506	520	531	546	551	556	550	562	566	557	546	532	499	455	
600	519	555	567	576	586	586	586	590	605	611	604	595	584	555	514	449
500	556	586	598	606	609	603	589	614	630	638	637	631	622	595	553	486
450	567	595	607	615	615	604	583	620	636	645	649	644	636	609	565	498
400	574	600	612	621	618	601	571	621	637	648	656	654	646	619	572	506
350	576	601	614	623	616	594	555	619	633	646	660	660	654	625	574	511
300	574	597	612	622	611					639	660	662	658	626	572	510
250	567	590	605	617	602					628	657	662	658	624	564	506
200	557	578	596	608	590					613	649	658	656	618	551	498
100	524	544	566	581							624	639	640	593	510	469
0	474										584	607	610	551	449	423
-100	410										528	561	567	493	367	360

为了便于使用，驾驶员手伸及界面的数据已列成了表格。根据驾驶室尺寸综和因子 G 值的大小和使用车辆的男女驾驶员的比例不同，ISO3958 共列出了 21 张表格。因为 G 值分成七档，男女驾驶员的比例分为三种，所以每张表格对应着一定范围的 G 值和确定的驾驶

员比例。其中七挡 G 值是： $G < -1.25$ ，

$-1.24 < G < -0.75$ ， $-0.74 < G < -0.25$ ， $-0.24 < G < 0.24$ ， $0.25 < G < 0.74$ ， $0.75 < G < 1.24$ ， $G > 1.25$ 。三种男女驾驶员的比例分别是 50/50，75/25，90/10。每张表格以表 2-2 的形式给出。表中手伸及界面的  $G < -1.25$ ，男女驾驶员比例为 50/50。

#### 4. 驾驶员手伸及界面的定位

同眼椭圆、头廓包络线一样，驾驶员手伸及界面也有自身的坐标系。在高度方向上，手伸及截面的 0 线位于通过 H 点的水平面上，向上为正，向下为负。在左右方向上，其 0 线位于通过 H 点的纵向垂直平面上，驾驶员左测为正，右测为负。在汽车的前后方向上，离加速踏板踵点后方水平距离为  $d$  处，有一表示手伸及距离的 HR 基准面。HR 基准面至手伸及界面之间各点的水平距离表示了驾驶员在不同高度及左右方向上的最大可伸及距离。

在车身坐标系中定位手伸及界面也就相当于定位 HR 基准面。其具体过程如下：

- i. 测量出被检验车辆驾驶室的以下几项尺寸： $\beta$ 、 $H_z$ 、 $H_x$ 、 $D$ 、 $\alpha$ 、 $W_x$ 、 $W_z$ 。各符号意义如前述。
- ii. 根据公式 2-1 算出驾驶室尺寸综合因子  $G$ 。
- iii. 按下述公式算出基准面 HR 离踵点的距离  $d$ （单位为 mm）：

$$d = 786 - 99 \cdot G(\text{mm})$$

如果若  $(d - L53) < 0$ ，则基准面 HR 位于加速踏板踵点后方  $d$  处。

若  $(d - L53) > 0$ ，则基准面 HR 位于 SgRP 处。

- iv. 在基准面 HR 上找到手伸及截面自身坐标系原点，定位手伸及界面。

#### 5. 驾驶员手伸及界面的应用

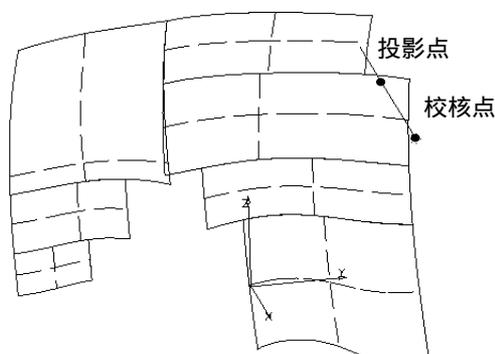


图 2-8 操作钮件的布置合理性检查

为保证驾驶员的行车安全，驾驶员在行车过程中用到的各种操纵件应布置在驾驶员的手伸及范围内。驾驶员手伸及界面就可以用来检验操纵件在车室中的布置位置合理与否。当操纵件在手伸及界面的内侧（靠近驾驶员一侧）时，操纵件的布置可以满足手伸及性的要求；

## § 2.4 轿车前风窗玻璃刮水器刮扫面积及位置

为确保良好的汽车视野性能，雨刮系统不仅应有足够的刮扫能力，而且要有正确的刮扫部位。有些系统尽管刮扫面积符合要求，但部位过于偏，对于汽车视野仍然无益。另外，刮扫面积内不同区域的清晰度要求亦不同。汽车风挡玻璃雨刮系统的刮扫面积大小和部位要以驾驶员眼椭圆或眼点为基准来确定。在 SAE J903 和 GB15085—94 中对于雨刮系统的刮扫区域、位置及刮净率均作了不同的规定。

### § 2.4.1 GB15085-94 汽车风窗玻璃刮水器的性能要求<sup>[17][18][19]</sup>

在 GB15085-94 中规定了 A、B 两个区域来控制雨刮器的刮刷面积和位置，其中对于 A、B 区域所要求的刮净率是不同的。该标准是以视原点  $V_1$ 、 $V_2$  为基准点求作的。

#### 1. 刮刷面积及位置

**1.1. A 区域：**是下述从 V 点（即指  $V_1$  和  $V_2$  点）向前延伸的 4 个平面与风窗玻璃外表面相交的交线所封闭的面积（图 2-9）。

1.1.1. 通过  $V_1$  点和  $V_2$  点且在 X 轴的左侧与 X 轴成  $13^\circ$  角的铅垂平面。

1.1.2. 通过  $V_1$  点与 X 轴成  $3^\circ$  仰角且与 Y 轴平行的平面。

1.1.3. 通过  $V_2$  点与 X 轴成  $1^\circ$  俯角且与 Y 轴平行的平面。

1.1.4. 通过  $V_1$  点和  $V_2$  点，向 X 轴的右侧与 X 轴成  $20^\circ$  角的铅垂平面。

**1.2. B 区域：**是指由下述 4 个平面所围成的风窗外表面的面积，且距风窗玻璃透明部分面积边缘向内至少  $25mm$ ，以较小面积为准（图 2-10）。

1.2.1. 通过  $V_1$  点，与 X 轴成  $7^\circ$  仰角且与 Y 轴平行的平面。

1.2.2. 通过  $V_2$  点，与 X 轴成  $5^\circ$  俯角且与 Y 轴平行的平面。

1.2.3. 通过  $V_1$  点和  $V_2$  点且在 X 轴的左侧与 X 轴成  $17^\circ$  角的铅垂平面。

1.2.4. 以汽车纵向中心平面为基准面，与 1.2.3 对称的平面。

## 2. 雨刮器刮刷性能要求

- 2.1. 刮水器的刮刷面积应覆盖 A 区域的 98% 以上，B 区域的 80% 以上。
- 2.2. 刮水器系统至少应具备两种刮刷频率。高频必须不小于 45 次/min，低频不得小于 20 次/min，且高频与低频之差应不小于 15 次/min（刮水器工作时的一个往返运动为一次）。

图 2-9 前风窗刮扫区域 A 区域示意图

图 2-10 前风窗刮扫区域 B 区域示意图

- 2.3. 刮水器关闭时，刮片应自动返回至最初位置。
- 2.4. 刮水器工作时能承受 15s 的外力阻挡负荷，之后所有部件仍能正常工作。
- 2.5. 刮水器在外界温度  $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$  的干燥风窗上仍能持续工作 2min。对刮刷面积不作特定要求。

### § 2.4.1 SAE J903 汽车风窗玻璃刮水器的性能要求<sup>[20]</sup>

与 GB15085-93 所不同的是，SAE J903 是以眼椭圆为基准求作雨刮器刮刷面积和位置，并对刮净率做出要求的。

根据下表中的规定，分别作眼椭圆上下切平面（在侧视图上为直线）和左右切平面（在俯视图上为直线）。这四个切平面与风挡玻璃相交的四条交线构成了汽车视野要求的刮扫面积。不同的刮扫区内清晰度要求并不一样。A 区受顺刮式或对刮式雨刮器及风挡玻璃曲面形状的限制，其清晰度要求最低，其次为 B 区。C 区清晰度要求最高。各刮扫区域的位置及刮净率的规定如表 2-3 所示：

表 2-3 SAE J903 轿车雨刮器的刮扫部位和要求

区 域	刮净率 %	眼椭圆 百分位	角度 (deg)			
			左	右	上	下
A	80	95	18	10	10	5
B	95	95	14	5	5	3
C	100	95	10	5	5	1

## § 2.5 安全带固定点位置

### § 2.5.1 安全带的种类及特点

#### 1. 两点式安全带

两点式安全带也称为腰带，它是汽车安全带中最基本的一种型式。它能防止汽车碰撞时乘员下身过大的相对位移，避免乘员被甩出车外的危险，但是它不能约束乘员上身的运动。因此只在后排座椅使用。在前排座椅使用时应与设置在方向盘内的安全气囊一起使用，即依靠两点式安全带约束下身的运动，同时依靠气垫来保护头胸部。

## 2. 肩带

肩带可以避免在发生汽车碰撞时乘员上身的运动，但是它不能避免乘员下身向前挤出的趋势。为防止下身向前挤出，近年来有些轿车上在仪表板下部装置了缓冲性能良好的膝垫，弥补了单独使用肩带的缺点。

## 3. 三点式安全带

三点式安全带由腰带和肩带组合而成。兼有上述两种安全带的优点，安全保护性能良好，是目前前排座椅中最常用的一种型式。

## 4. 四点式安全带

四点式安全带亦称全背带式安全带，在两点式安全带上再加上两根背带构成。这种安全带多用于赛车上。

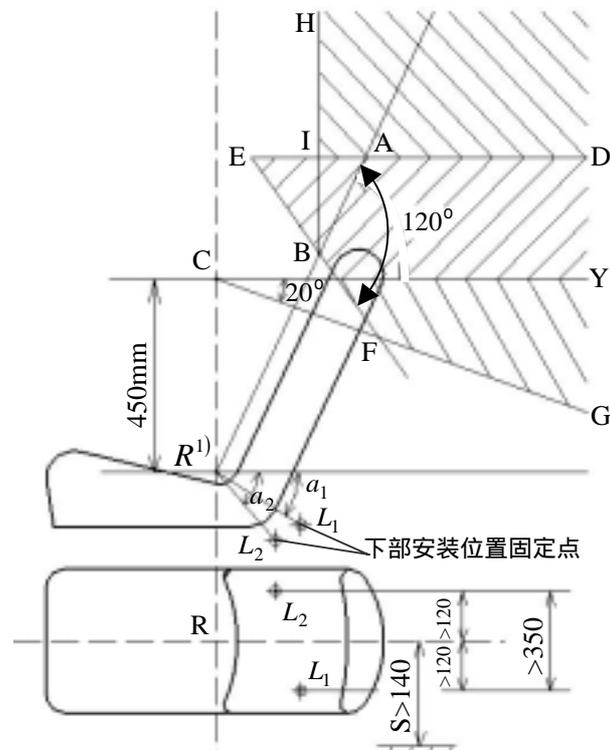
### § 2.5.2 安全带固定点位置

安全带对于驾驶员及乘员有着良好的保护作用。但安全带固定装置在车内的固定位置（即固定点的位置）对佩带方便性和安全保护作用有重要影响。因此各国对安全带固定点的位置都有明确的规定。安全带固定点的位置主要是考虑在发生碰撞时安全带的受力方向，各种标准就是从安全带的受力角度来约束固定点区域的。系统主要针对在轿车上广泛应用的三点固定式安全带。

#### 1. GB 14167-93 汽车安全带安装固定点<sup>[21]</sup>

##### 1.1. 下部安装固定点位置

- 1.1.1. 在座椅所有调节位置， $a_1$  和  $a_2$  角应在  $20^\circ \sim 75^\circ$  之间。
- 1.1.2. 平行与汽车纵向中心平面而且分别通过  $L_1$  和  $L_2$  点的两铅垂平面之间的距离不应小于 350mm。但由于汽车结构所限，可在 300mm 以上。 $L_1$  和  $L_2$  点应在座椅中心面两侧，且任



注：对于  $a_1$ 、 $a_2$  角为 H 点 上部安装位置固定点

图 2-11 安全带固定点位置图

一点距该平面不得小于 120mm。

## 1.2. 上部安装固定点位置

上部安装固定点位置应在下列个平面所围成的 D E F G 范围内,各平面均垂直于汽车纵向中心面。且 S 不得小于 140 mm。

ED 平面 通过躯干基准线上 A 点的水平面,且  $AR = 315mm + 1.8S$ 。

EF 平面 通过躯干基准线上 B 点,与躯干基准线成  $120^\circ$  角,且  $BR = 260mm + S$ 。

FG 平面 通过 R 点铅垂上方 450mm 处的 C 点与水平面成  $20^\circ$  角。

但由于汽车结构所限,上部安装固定点位置可以在下列两平面围成的 H I D 范围内。

HI 通过 B 点的铅垂平面。

ID 即 ED 平面。

如果上部安装固定点在通过 C 点的水平面 CY 下方,则座椅靠背上端与织带的切点应在 CY 平面的上方,且必须装导向件,使安全带不会从乘员肩部滑落。

## 2. SAE J383 汽车座椅安全带固定点<sup>[22][23][24]</sup>

### 2.1. 腰带固定点位置

对于前后方向可调节座椅、且固定点设置在车体上时,应按图 2-12 中所示来确定腰带固定点的位置。方法如下:在座椅参考点(H 点)前方 64mm、上方 10mm 处找到安全带夹角点。从该点向固定点连接一条直线,该线与水平线间夹角应在  $20^\circ \sim 75^\circ$  范围之内。此时安全带不与座椅框架接触。

对于前后方向不可调节座椅、且固定点设置在车体上时,应按图 2-13 所示来确定固定点的位置。方法为:由座椅参考点直接向固定点作直线。该直线与水平线之间的夹角应在  $20^\circ \sim 70^\circ$  范围之内。此时安全带不与座椅框架有接触点。

对于固定点设置在座椅骨架上的情况,座椅参考点向固定点的连线与水平线夹角亦应在  $20^\circ \sim 70^\circ$  范围之内。

### 2.2. 肩带固定点位置

如图 12 所示。座椅调节至最后和最下位置。座椅靠背调节至最小倾角位置。由肩部参考点向上量取 154.2mm,并作与水平线呈  $80^\circ$  的夹角线,肩带固定点应落在通过肩部参考点的水平线与  $80^\circ$  夹角线所包围的范围内。

如果车体结构上不可能在上述范围内设置肩带固定点,则可设置在肩部参考点水平线以下  $40^\circ$  夹角的范围内。其中:

H 点—座椅参考点 (H 点)    X 点—安全带夹角点    S 点—肩部参考点  
D 点—安全带在下部的固定点    M 点—安全带与座椅框架的接触点

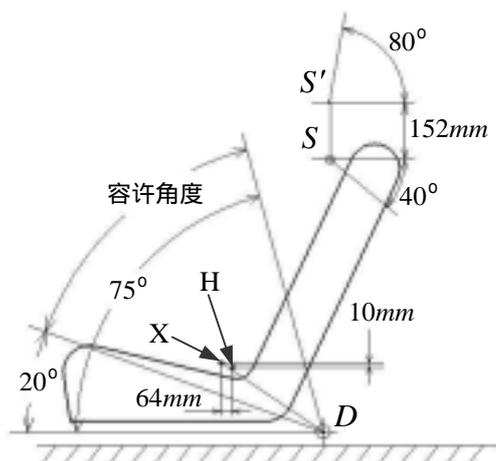


图 2-12 SAE 腰带固定点  
(座椅前后可调)

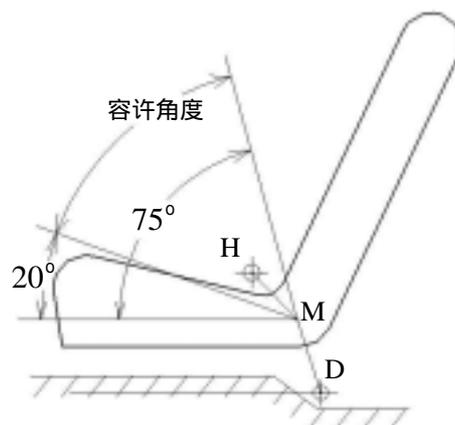


图 2-13 SAE 腰带固定点  
(座椅前后不可调)

## § 2.6 轿车车身硬点数据库

轿车车身总布置实际上是确定车身各部分之间的硬点关系。SAE J1100 推荐了一系列车身硬点的定义、测量方法等。汽车车身内部的各种硬点之间的约束数目众多,关系复杂,评价指标模糊。其中很多硬点的确定是依靠设计者的经验而确定。因此在设计一种车型时,其它同种车型的车的的设计硬点尺寸对于设计有很大的帮助意义。为了使设计者在应用 CATIA 进行车身总布置设计时可以即时地查询到相关车型的设计硬点。我们基于 CATIA 的标准 MOTIF 界面开发轿车车身硬点数据库系统。利用它可以快速地查询到同种车型的设计硬点的具体数值及经验范围、平均值等,也可以查询到某一个硬点的定义等。对于某些硬点也作了相应的图示说明。

### § 2.6.1 轿车车身硬点代号的含义<sup>[24]</sup>

车身硬点数据库中的硬点的代号、定义、测量方法等都按照 SAE J1100 中的推荐而执行。代号采用**大写英文字母+数字**的形式,如 H30;其中大写英文字母和数字的含义如下:

W—宽度方向的尺寸	H—高度方向的尺寸
V—容积尺寸	L—长度方向的尺寸
1-99: 内部空间尺寸	100-199: 外部空间尺寸

### § 2.6.2 轿车车身硬点数据库的组织

根据发动机的排量不同，数据库将轿车分为三类：微型车（排量小于 1.2 升）、中级车（排量在 1.2 升到 2.5 升之间）、高级车（排量大于 2.5 升）。同类车的数据组织在一起管理。硬点在数据中的顺序按照硬点代号英文字母的顺序采用链表的形式排列<sup>[25][26]</sup>，这样可以提高硬点数据的查询速度。

### § 2.6.3 硬点查询

在查询硬点时根据使用者的选项的不同可以分为以下几种：

#### 1. 整车查询

使用者可以同时查询某几种车的所有硬点数据及这些硬点的设计经验值。

#### 2. 输入硬点查询

使用者也可以输入几个硬点代号并选择一些车型查询，以比较不同车型间同一硬点数据的不同。

#### 3. 按照对象关系查询

在数据中，整理了对于某一对象有影响的硬点。比如设计者在确定 H 点位置时，可以查询所有与 H 点相关的硬点及设计经验值，从而找到影响 H 点位置的因素。

## § 2.7 本章小结

本章讲述 SAE、ISO、GB 中推荐使用的车身布置工具和某些法规要求，如眼椭圆、头廓包络线、手伸及界面等工具和安全带固定点位置、轿车前风窗刮水器刮扫面积和位置等法规。另外为方便设计者查询相关车性的设计经验，系统还建立了轿车车身硬点数据库。有了这些设计工具后，设计者可以方便、快捷的应用它们来进行轿车车身总布置，实现设计过程的自动化。

## 第三章 驾驶员 H 点设计与优化

### § 3.1 H 点及其意义

#### § 3.1.1 H 点的定义及不同表达方式

**H 点**是二维或三维人体模型样板中人体躯干与大腿的连接点，即胯点(Hip Point)。在人体模板中为髋关节。在确定驾驶室布置工具（第二章所述）在车身中的位置时常以此点作为定位基准点。

根据应用场合的不同，H 点的表达也有所不同<sup>[24]</sup>：

- **设计 H 点(DSIGN H-POINT)**

设计 H 点是指在汽车总布置时的设计基准点。最后设计 H 点表示的是第 95 百分位的男子人体模型在最后位置时的胯点，最前设计 H 点表示的是第 5 百分位的女子人体模型在最前位置时的胯点。由最前和最后设计 H 点便可以求得座椅的水平行程和垂直升程。

- **实际 H 点(ACTUAL H-POINT)**

实际 H 点是指当 H 点三维人体模型按规定步骤安放在汽车座椅中时，人体模型上左右 H 点标记连接线的中点。它表示汽车驾驶员或乘员入座后胯关节在车身中的位置。汽车的实际 H 点在汽车车身总布置设计中有重要意义：由于 H 点三维人体模型各构件的尺寸、质量及质心位置均以人体测量数据为依据、座板与背板的轮廓线形状均是真实人体臀部和背部轮廓线形状的统计描述，因此它可以比较真实地模拟出驾驶员以正常驾驶姿势如座后的实际的 H 点位置。

- **座椅参考点(SGRP)**

座椅参考点是指座椅上的一个设计参考点，它是座椅制造厂规定的设计基准点。考虑到座椅的所有调节形式（水平、垂直和倾斜），座椅参考点确定了在正常驾驶或乘坐时座椅的最后位置。它表征了当第 95 百分位的人体模型按规定摆放在座椅上时，实际 H 点应与座椅参考点相重合。SgRP 点相对于车身坐标系的 X、Y、Z 坐标，为 SAE 中的 L31、W20、H70 着三个硬点尺寸。

#### § 3.1.2 H 点在车身设计中的意义

驾驶员在车身中的位置（H 点的位置）决定着驾驶员身体各关节角度和眼椭圆、头廓包络线、手伸及界面等在车身中的位置，因此 H 点决定了驾驶员的舒适性、操纵性、安全

性和视野性等。如图 3-1 所示表述了驾驶员在驾驶过程中的各种性能和驾驶室环境间的关系。由图中我们可以看出 H 点的位置直接决定了驾驶室环境与驾驶员的相互关系，是“人一机一环境”中“人”与“机”的衔接链。在 SAE J1100 中定义了三百多个硬点信息来控制整车总布置，其中控制整车外形和第一、第二排驾驶和乘坐空间的主要硬点信息就有 70 多个。这些硬点大部分是以 H 点为基准或是与 H 点相关的，另外，这些硬点信息之间又具有复杂的关联性。因此合理地确定 H 点在车身中的位置直接关系整车的设计质量，实际上该过程是一个不断重复、迭代修改、寻求最佳的折衷方案的过程<sup>[27]</sup>。

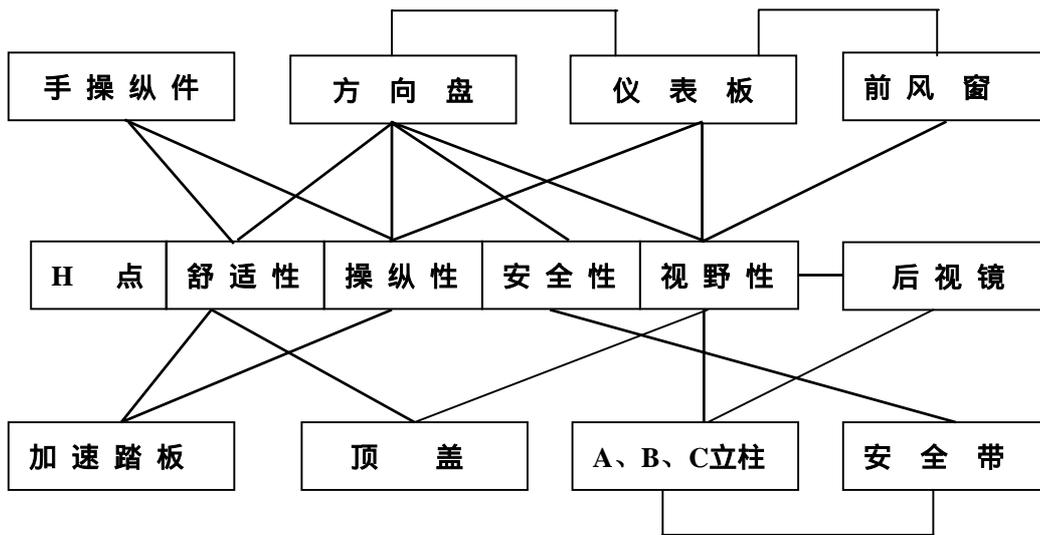


图 3-1 H 点与驾驶员周围环境关系图

## § 3.2 H 点的确定方法

在基于 CATIA 的车身总布置系统中建立了 SAE J1517 中推荐的 H 点适意线，实现了设计的自动化。同时对于 SAE 推荐 H 点适意线进行了分析，提出了更为符合驾驶员实际驾驶要求的 H 点区域法。

### § 3.2.1 SAE 推荐 H 点适意线方法

SAE 根据不同身材的驾驶员在各自的适意驾驶姿势时实际 H 点在车身坐标系中位置的不同，针对不同百分位的驾驶员统计出了一组 H 点曲线，该曲线表征了不同百分位驾驶员在适意驾驶姿势时 H 点的常用位置。利用它可以直接地确定出对应于不同的 H 点高度（H30）下 H 点在车身中的位置。

#### 1. 相关定义

- 1.1. **加速踏板踵点(AHP)**: 指在加速踏板未压缩时，人体模型的踵点在被压塌的地板覆盖件上的点。
- 1.2. **拇趾参考点(BOF)**: 在侧视图上，过 AHP 点作人体样板鞋底的切线，在该切线上离 AHP 点 203mm 处的一个点。

- 1.3. **踏板装置角**：在侧视图上踏板平面与水平面的夹角。
- 1.4. **踏平面角**：驾驶员以正常驾驶姿势踏在加速踏板上时，在侧视图上鞋底平面与水平面的夹角。
- 1.5. **坐姿舒适性<sup>[28]</sup>**：驾驶员或乘员的舒适性是车身设计中一个非常重要的性能指标。舒适性的内容非常广泛，包括坐姿舒适、动态舒适、温度舒适等，并且具有综合性、主观性、个体性的特点。人机工程定义了舒适的概念，即没有不舒适的状态。从生理学的角度考虑，舒适应该是在生理上从事的活动在一定约束下的能量的最小化。由此可见，坐姿的最小不舒适就是坐姿舒适。
- 1.6. **A 类汽车**：指 H30 的大小在 127mm 和 405mm 之间，方向盘直径(W9)小于 450mm 的汽车，通常包括轿车、旅行车及轿车变型车。
- 1.7. **B 类汽车**：指 H30 的大小在 405mm 和 530 之间，方向盘直径(W9)在 450mm 和 560mm 之间的汽车，通常包括重型及中型载货车及一些大客车。

## 2. 拇趾参考点 (BOF) 的确定

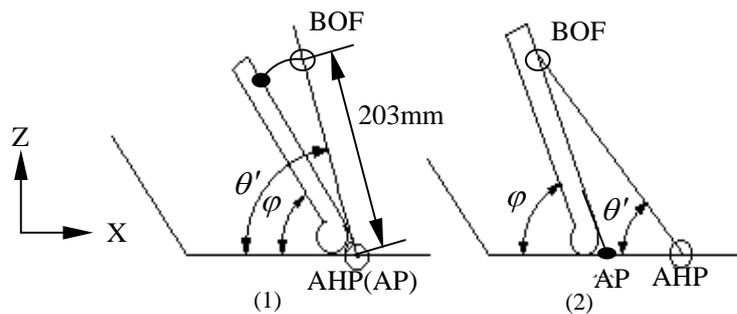


图 3-2 加速踏板踵点(AHP)和拇趾基准点(BOF)

拇趾参考点是人体模型鞋底平面上的一个点，其意义在于驾驶员在踏动踏板过程中通过该点（鞋底平面与踏板相切于该点）对踏板施加力比较方便。

如图 3-2 所示，设在侧视图上踏板平面与地板平面交点为 AP，坐标为  $(X_{AP}, Z_{AP})$ ，拇趾参考点坐标为  $(X_{BOF}, Z_{BOF})$ ，踵点坐标为  $(X_{AHP}, Z_{AHP})$ ，踏板装置角为  $\varphi$ ，踏平面角为  $\theta$ 。则拇趾参考点和踵点的求解过程如下：

首先根据车型设计要求（轿车级别、车型总高等）及相关车型的设计经验选择一个 H 点高度 H30（H 点与踵点的垂直距离），然后根据 SAE 统计的踏平面角  $\theta$  与 H 点高度 H30 间的经验公式 3-1 求得计算踏平面角  $\theta'$ 。

$$\theta = 78.96 - 0.15 \cdot (H30) - 0.0173 \cdot (H30)^2 \quad (3-1)$$

如图 3-2(1)所示，当计算踏平面角  $\theta' > \varphi$  时，取实际踏平面  $\theta = \varphi$ 。此时实际踵点和踏板平面与地板平面交点 AP 相重合即脚底平面与踏平面相重合，拇趾参考点为在踏板平面上与 AP 点（AHP 点）距离为 203mm 的点，其坐标为：

$$\begin{cases} X_{BOF} = X_{AP} - 203 \times \cos \theta \\ Z_{BOF} = Z_{AP} + 203 \times \sin \theta \end{cases} \quad (3-2)$$

如图 3-2(2)所示,当计算踏平面角  $\theta' < \varphi$  时,取实际踏平面  $\theta = \theta'$ 。此时实际踵点较踏板平面与地板平面交点 AP 后移,并且该点到踏平面与踏板交点的距离为 203mm,此时该交点便为拇趾参考点 BOF。在这种情况下踵点 AHP 和拇趾参考点 BOF 的坐标分别如公式 3-3、3-4 所示:

$$\begin{cases} X_{AHP} = X_{AP} - 203 \times \sin \theta \times \cos \varphi + 203 \times \cos \theta \\ Z_{AHP} = Z_{AP} \end{cases} \quad (3-3)$$

$$\begin{cases} X_{BOF} = X_{AP} - 203 \times \sin \theta \times \text{ctg} \varphi \\ Z_{BOF} = Z_{AP} + 203 \times \sin \theta \end{cases} \quad (3-4)$$

### 3. SAE 推荐适意 H 点位置线<sup>[29][30]</sup>

SAE 推荐的适意驾驶位置时的 H 点位置线分为 A 类车和 B 类车两种,由于我们是针对 A 类车而建立的车身总布置系统,所以在此仅考虑 A 类车的 H 点适意线。SAE 针对不同的百分位的驾驶员在各自适意驾驶位置时 H 点在车身坐标系中的位置统计了一组从第 2.5 百分位到 97.5 百分位七条曲线,它们是以拇趾参考点为基准点,考虑驾驶员的舒适性而建立的一组曲线。其中每条曲线表示 H 点与拇趾参考点的水平距离是 H 点高度 H30 的二次函数。参考图 3-3 所示, H 点适意线的方程为公式 3-5:

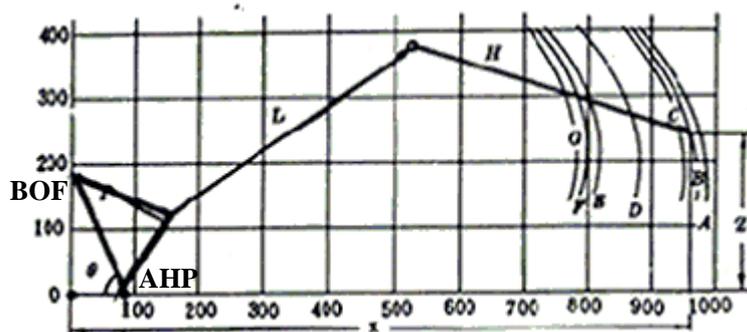


图 3-3 A 类车驾驶员适意驾驶位置线

百分位: A-97.5th B-95th C-90th D-50th E-10th F-5 G-2.5th  
 P—加速踏板 M—踵点 AHP—踵点 BOF—拇趾参考点 H—大腿 L—小腿

$$\begin{cases} X_{97.5} = 936.6 + 0.613879Z - 0.00186247Z^2 \\ X_{95} = 913.7 + 0.672316Z - 0.00195530Z^2 \\ X_{90} = 885.0 + 0.735374Z - 0.00201650Z^2 \\ X_{50} = 793.7 + 0.903387Z - 0.00225518Z^2 \\ X_{10} = 715.9 + 0.968793Z - 0.00228674Z^2 \\ X_5 = 692.6 + 0.981427Z - 0.00226230Z^2 \\ X_{2.5} = 687.1 + 0.895336Z - 0.00210494Z^2 \end{cases} \quad (3-5)$$

式中,  $X_i$ —第  $i$  百分位身材的驾驶员的 H 点距离拇趾基准点后方的水平距离, 单位为 mm。后方指车身坐标系的 X 轴正方向。  
Z—H 点距离加速踏板踵点的高度, 单位为 mm。

设计时根据选择的 H 点高度 H30 确定拇趾参考点 BOF 和踵点 AHP 后便可以由公式 3-5 求得 H 点在车身中的位置。

#### 4. 座椅调节行程的确定

满足度(适应级)是指所设计的产品或工程系统, 在尺寸上能满足的适合使用者的人数占特定使用者群体的百分率。这是产品设计或工程设计系统中有关人机工程设计的一项基本指标。基于人体尺寸变异性大的特点, 设计人员应当充分认识到, 他所设计的产品或工程系统, 决不是仅供某一小部分身材的人使用, 而是为满足占特定使用者群体中相当大百分率的人使用而设计的。要想达到 100% 的满足度, 在技术和经济上往往是不可能实现, 或是不合理的。在汽车产品设计中常常以满足度达到 90% 作为设计目标, 其上限取为 95th, 下限取为 5th。

为满足第 95th 驾驶员舒适性、操纵性、安全性等的要求, 最后设计 H 点应采用第 95th 驾驶员的 H 点。同样最前设计 H 点采用第 5th 驾驶员的 H 点。根据最前和最后设计 H 点的位置便可以求得座椅的水平行程 L23。具体求解过程如下(参考图 3-4):

1. 根据轿车设计要求及同类车设计经验选择最后 H 点高度 H30 和相对于最前和最后 H 点座椅垂直行程 H58。
2. 应用公式 3-5 中 95thH 点适意线求得最后 H 点到拇趾参考点的水平距离  $X_{95} = 913.7 + 0.672316Z - 0.00195530Z^2$  (3-6)
3. 应用公式 3-5 中 5thH 点适意线求得最前 H 点到拇趾参考点的水平距离  $X_5 = 692.6 + 0.981427Z - 0.00226230Z^2$  (3-7)
4. 根据  $X_{95}$  和  $X_5$  求得座椅水平调节行程

$$L23 = X_{95} - X_5 \quad (3-8)$$

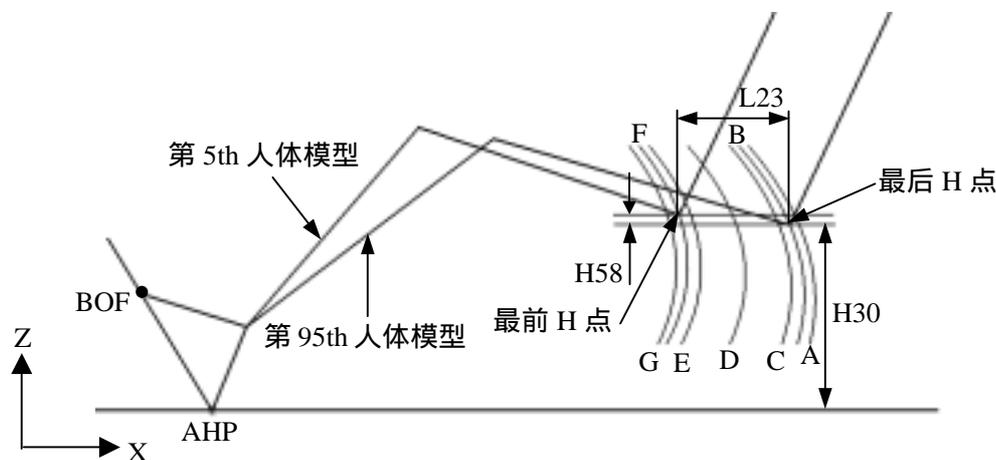


图 3-4 H 点水平调节行程的确定

百分位: A-97.5th B-95th C-90th D-50th E-10th F-5th G-2.5th

### § 3.2.2 H 点功能区域法<sup>[31]</sup>

SAE 适意 H 点位置线适合于从内到外的车身布置方法, 对于以现有平台作为基础的从外到内布置方法来说, 应该考虑方向盘、踏板、视野、顶盖高度等空间尺寸对于 H 点位置的约束, 基于此提出了一种综合考虑以上约束的 H 点优化方法, 得到一 H 点舒适域, 称其为 H 域方法, 这种方法在目前可能更为实用。

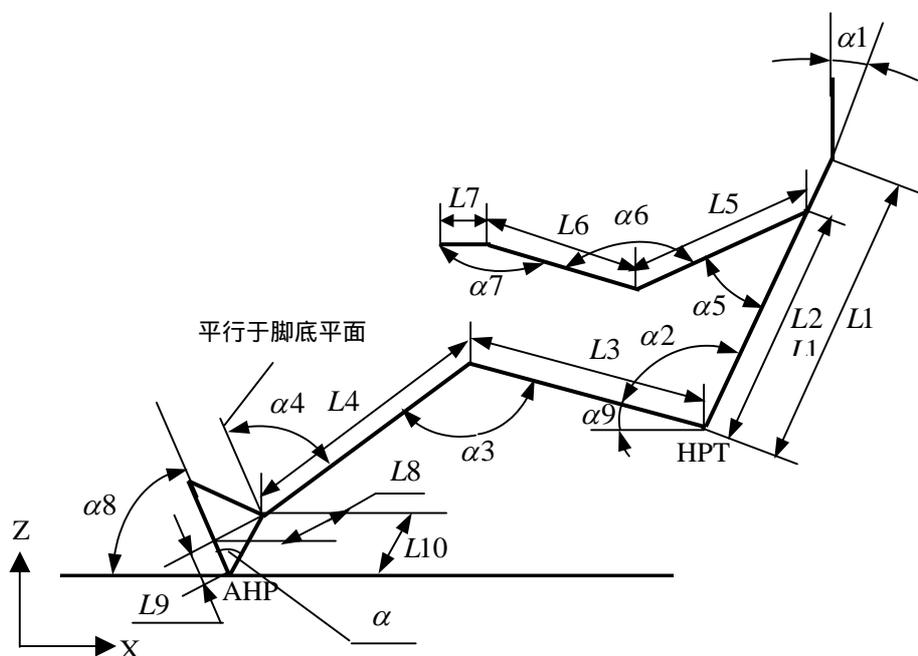


图 3-5 二维杆件人体模型示意图

- |                         |                     |
|-------------------------|---------------------|
| $L1$ —H 点到颈关节的长度        | $L2$ —H 点到肩关节的长度    |
| $L3$ —膝关节到 H 点的长度       | $L4$ —膝关节到踝关节的长度    |
| $L5$ —肩关节到肘关节的长度        | $L6$ —肘关节到腕关节的长度    |
| $L7$ —腕关节到手心的长度         | $L8$ —踝关节到脚底平面的垂直距离 |
| $L9$ —踵点到 $L8$ 定义中垂足的距离 | $L10$ —踵点到踝关节的长度    |

表格 3-1 A 类车驾驶员坐姿舒适关节角度

定义	符号	最小值	最大值
躯干中心线与垂线夹角	$\alpha_1$	20°	30°
躯干中心线与大腿中心线夹角	$\alpha_2$	95°	120°
大腿中心线与小腿中心线夹角	$\alpha_3$	95°	135°
小腿中心线与脚底平面的夹角	$\alpha_4$	78°	105°
躯干中心线与上臂中心线夹角	$\alpha_5$	0°	50°
上臂中心线与下臂中心线夹角	$\alpha_6$	80°	170°
下臂中心线与手中心线夹角	$\alpha_7$	170°	190°
脚底平面与水平面夹角	$\alpha_8$	40°	70°
大腿中心线与水平线夹角	$\alpha_9$	12°	25°

### 1. 驾驶员下肢坐姿舒适性约束

驾驶员在行车过程中，为了承受长时间固定姿势的驾驶作业，必须实现坐姿的自我调节，而坐姿的改变都是依靠关节的运动来实现的。为了减轻驾驶姿势的不舒适和疲劳程度，驾驶员的身体各关节之间的夹角应该保持在一定的舒适范围内。根据不同国家、地区人体各肢体比例的不同人体各关节角度的舒适范围有所不同。另外由于 A 类车驾驶员各种操纵力比较小，在设计时主要考虑驾驶员的舒适性而采用低坐姿（H30 较小），对于 B 类车<sup>[32]</sup>，驾驶员的各种操纵力（转动方向盘、脚踏踏板等）比较大，适合采用高坐姿（H30 较大）。对于 A 类车和 B 类车的这种驾驶姿势，它们的舒适坐姿关节角度也有所不同。在本系统中采用了国际上常用的针对 A 类车驾驶员所推荐的一组舒适驾驶姿势的关节角度范围，参见图 3-5 和表 3-1<sup>[33]</sup>：

以上所讲述的  $a_4$  为小腿中心线与裸脚脚底平面间的夹角， $a_8$  为水平面与裸脚脚底平面的夹角。由于驾驶员在实际驾驶过程中要穿鞋，因此在考虑驾驶员的坐姿舒适性时应考虑鞋跟的厚度，如图 3-6 所示。一般取鞋跟厚度（裸脚脚底平面与鞋底平面的夹角）的范围为  $6.0^\circ \sim 6.5^\circ$ <sup>[34]</sup>，在本系统中取为  $6.5^\circ$ 。由此我们可以得到小腿中心线与鞋底平面的夹角  $a_4'$ 、鞋底平面与水平面间夹角  $a_8'$  和小腿中心线与裸脚脚底平面间的夹角  $a_4$ 、裸脚脚底平面与水平面间夹角  $a_8$  间的关系为：

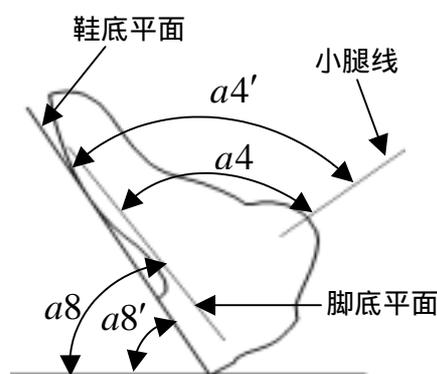


图 3-6 鞋底厚度对  $a_8$  影响示意图

$$\begin{cases} a_4' = a_4 - 6.5 \\ a_8' = a_8 + 6.5 \end{cases}$$

(3-6)

根据上述公式可以得到各自角度的舒适范围如表 3-2 所示：

表 3-2 穿鞋前后脚部角度舒适范围

舒适角度范围	相对于裸脚的角度 (deg)		相对于穿鞋的角度(deg)	
	$a_4$	$a_8$	$a_4$	$a_8$
最小值	78	40	71.5	46.5
最大值	105	70	98.5	76.5

以后在本文中所涉及到的  $a_4$ 、 $a_8$  均为考虑穿鞋后的舒适角度。

根据图 3-5 中下肢的几何关系，我们可以得到  $a_4$ 、 $a_8$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  间的关系为：

$$\alpha_4 + \alpha_8 = \alpha_3 + \alpha_9 \quad (3-7)$$

设 H 点的坐标为  $(X_{HPT}, Z_{HPT})$ ，踵点的坐标为  $(X_{AHP}, Z_{AHP})$ ，由图 3-5 中的几何关系可求得 H 点相对于 AHP 点的坐标为：

$$\begin{cases} X_{HPT} = X_{AHP} + L_{10} \cdot \cos(180^\circ - a_8 - a) + L_4 \cdot \cos(180^\circ - a_8 - a_4) + L_3 \cdot \cos(a_9) \\ Z_{HPT} = Z_{AHP} + L_{10} \cdot \sin(180^\circ - a_8 - a) + L_4 \cdot \sin(180^\circ - a_8 - a_4) - L_3 \cdot \sin(a_9) \end{cases} \quad (3-8)$$

其中， $a$  为踝点与踵点的连线和鞋底平面的夹角，见图 3-5。

由公式 3-7、3-8 可知：在踵点已知的条件下，当  $a_4$ 、 $a_8$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  中某三个角度已知时，可以求得第四个角度，这时所得到的 H 点对应于唯一的一个点；当  $a_4$ 、 $a_8$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  中某两个角度已知，另两个角度在各自的舒适范围内变化并考虑公式 3-7 的约束时得到的 H 点对应于一条线；当  $a_4$ 、 $a_8$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  中某一个角度已知，另三个角度在各自的舒适范围内变化并考虑公式 3-7 的约束时得到的 H 点对应于一个区域；

在确定 H 点在车身中的位置时，一般已知踏板在车身中的布置，即踏平面角  $a_8$  可以初步确定。在考虑驾驶员在驾驶过程中的舒适性时， $a_8$  是一个非常重要的角度，因为驾驶员是通过改变该角度来踏动油门踏板的。 $a_9$  对于驾驶员舒适性的影响也比较重要，因为在选择座椅的坐垫倾角时要考虑大腿角的大小对于体压分布的影响。因此在座椅坐垫倾角已知的情况下常常把  $a_9$  作为已知条件求解 H 点。下面我们研究当  $a_8$ 、 $a_9$  已知条件下 H 点舒适曲线的求取和  $a_8$  已知条件下 H 点舒适区域的求取。

●  $a_8$ 、 $a_9$  已知条件下 H 点舒适线的求取

根据上文我们可以知道当  $a_8$ 、 $a_9$  已知， $a_3$ 、 $a_4$  在其各自的舒适范围内变化时得到的 H 点对应于一条曲线。由于  $a_4$ 、 $a_8$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  的舒适角度范围互不关联，并且在数值上满足公式 3-7，因此在  $a_8$ 、 $a_9$  已知的情况下可以求得  $a_3$ 、 $a_4$  实际可以取得的舒适角度范围。

当  $a_8$ 、 $a_9$  已知时由公式 3-7 可得  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$ ，其中  $a_8 - a_9$  为常数并且等于直线  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  在  $a_3$  上的截距，如图 3-7 所示。下面以点 M 为例说明直线  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  与该点的位置关系：M 点坐标为  $(a_{3mix}, a_{4max})$ ，在该坐标系中所有过 M 点的直线  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  的截距均为  $a_{3mix} - a_{4max}$ 。对于该坐标系中的任意一条直线  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$ ，当  $a_8 - a_9 \geq a_{3min} - a_{4max}$  时直线位于 M 点的下方，当  $a_8 - a_9 \leq a_{3min} - a_{4max}$  时直线位于 M 点的上方，当  $a_8 - a_9 = a_{3min} - a_{4max}$  时直线通过 M 点。由此我们可以判断直线  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  与矩形 MNOP 的四个顶点的位置

关系。图 3-7 中直线 L1、L2、L3 分别为不同的三种情况。其中当  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  在 M 点和 P 点之间时  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  与 MN 和 MP 相交，即  $a_4$ 、 $a_3$  的舒适取值范围受 MN 和 MP 控制；同理当  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  在 P 点和 N 点之间时  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  与 MN 和 PO 相交，即  $a_4$ 、 $a_3$  的舒适取值范围受 MN 和 PO 控制；同理当  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  在 N 点和 O 点之间时  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  与 NO 和 PO 相交，即  $a_4$ 、 $a_3$  的舒适取值范围受 NO 和 PO 控制；下面将具体研究这三种情况。

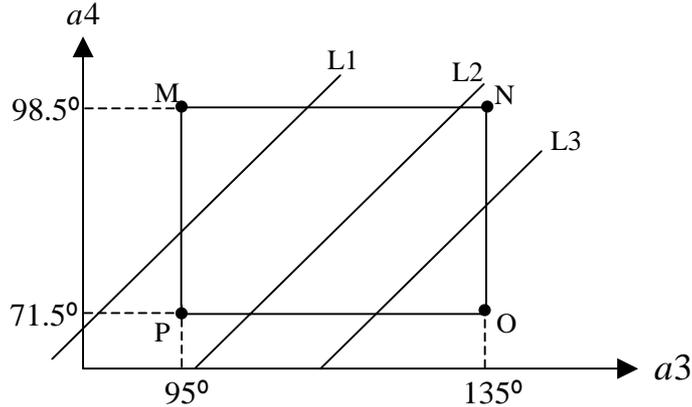


图 3-7  $a_8$ 、 $a_9$  取不同值时的  $a_3$ 、 $a_4$  可取范围图

1)  $a_{8_{\min}} - a_{9_{\max}} \leq a_8 - a_9 \leq a_{3_{\min}} - a_{4_{\min}}$

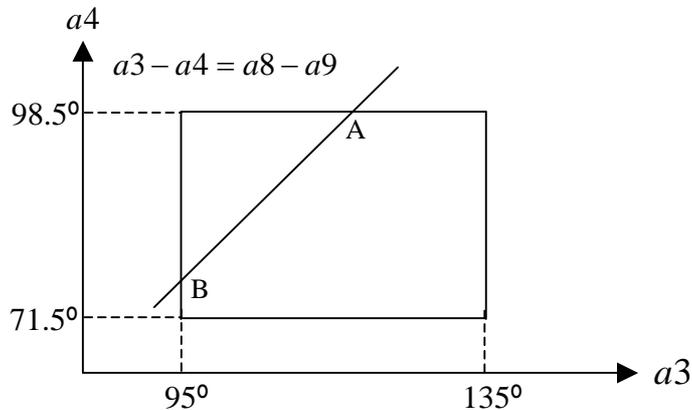


图 3-8  $a_8$ 、 $a_9$  已知条件下  $a_3$ 、 $a_4$  关系 1

如图 3-8 所示，当  $a_{8_{\min}} - a_{9_{\max}} \leq a_8 - a_9 \leq a_{3_{\min}} - a_{4_{\min}}$  即  $21.5^\circ \leq a_8 - a_9 \leq 23.5^\circ$  时，直线  $a_3 - a_4 = a_8 - a_9$  分别与  $a_4 = 98.5^\circ$  和  $a_3 = 95^\circ$  相交于 A、B 点。当  $a_4 = a_{4_{\max}} = 98.5^\circ$  时， $a_3 = a_8 - a_9 + a_{4_{\max}} = a_8 - a_9 + 98.5^\circ$ ；当  $a_3 = a_{3_{\min}} = 95^\circ$  时， $a_4 = a_{3_{\min}} + a_9 - a_8 = 95^\circ + a_9 - a_8$ 。此时  $a_3$  的舒适范围为  $[95^\circ, a_8 - a_9 + 98.5^\circ]$ ， $a_4$  的舒适范围为  $[71.5^\circ, 95^\circ + a_9 - a_8]$ 。

2)  $a3_{\min} - a4_{\min} \leq a8 - a9 \leq a3_{\max} - a4_{\max}$

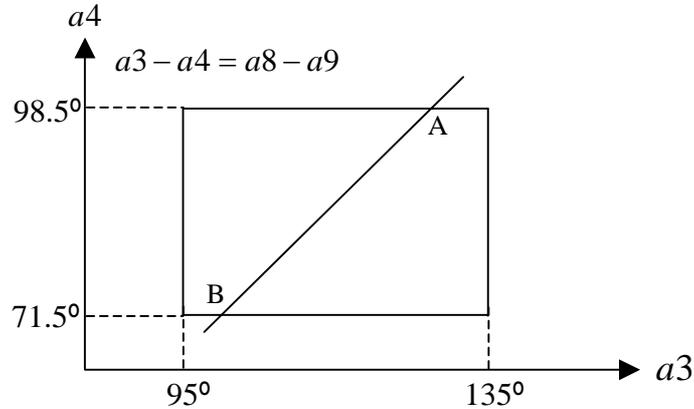


图 3-9  $a8$ 、 $a9$  已知条件下  $a3$ 、 $a4$  关系 2

如图 3-9 所示，当  $a3_{\min} - a4_{\min} \leq a8 - a9 \leq a3_{\max} - a4_{\max}$  即  $23.5^\circ \leq a8 - a9 \leq 36.5^\circ$  时，直线  $a3 - a4 = a8 - a9$  分别与  $a4 = 98.5^\circ$  和  $a4 = 71.5^\circ$  相交于 A、B 点。当  $a4 = a4_{\max} = 98.5^\circ$  时， $a3 = a8 - a9 + a4_{\max} = a8 - a9 + 98.5^\circ$ ； $a4 = a4_{\min} = 71.5^\circ$  时， $a3 = a8 - a9 + a4_{\min} = a8 - a9 + 71.5^\circ$ 。此时  $a4$  的舒适范围为  $[71.5^\circ, 98.5^\circ]$ ， $a3$  的舒适范围为  $[a8 - a9 + 71.5^\circ, a8 - a9 + 98.5^\circ]$ 。

3)  $a3_{\max} - a4_{\max} \leq a8 - a9 \leq a8_{\max} - a4_{\min}$

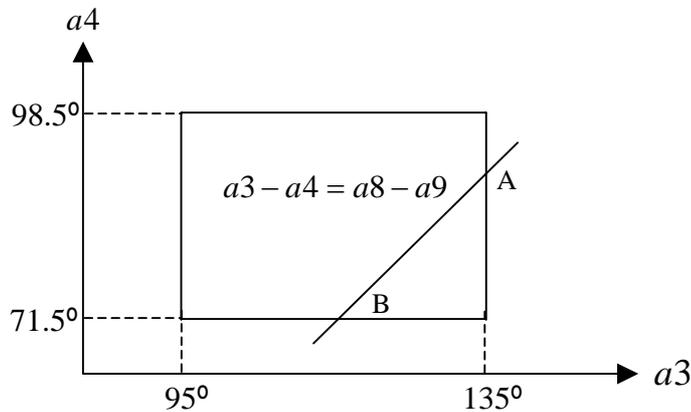


图 3-10  $a8$ 、 $a9$  已知条件下  $a3$ 、 $a4$  关系图 3

如图 3-10 所示，当  $a3_{\max} - a4_{\max} \leq a8 - a9 \leq a8_{\max} - a4_{\min}$  即  $36.5^\circ \leq a8 - a9 \leq 54.5^\circ$  时，直线  $a3 - a4 = a8 - a9$  分别与  $a3 = 135.5^\circ$  和  $a4 = 71.5^\circ$  相交于 A、B 点。当  $a3 = a3_{\max} = 135^\circ$  时， $a4 = a3_{\max} + a9 - a8 = 135^\circ + a9 - a8$ 。当  $a4 = a4_{\min} = 71.5^\circ$  时， $a3 = a8 - a9 + a4_{\min} = a8 - a9 + 71.5^\circ$ 。

下图 3-11 中已知  $a8$ 、 $a9$  的条件下不同的 H 点舒适曲线。其中 Crv1 为

$21.5^\circ \leq a_8 - a_9 \leq 23.5^\circ$  的舒适 H 点曲线; Crv2 为  $23.5^\circ \leq a_8 - a_9 \leq 36.5^\circ$  的舒适 H 点曲线; Crv3 为  $36.5^\circ \leq a_8 - a_9 \leq 54.5^\circ$  的舒适 H 点曲线; 同样的方法, 我们可以得到已知  $a_4$ 、 $a_8$  条件下的  $a_3$ 、 $a_9$  舒适范围及 H 点曲线。当  $a_{4_{\min}} + a_{8_{\min}} \leq a_4 + a_8 \leq a_{3_{\max}} + a_{9_{\min}}$  即  $118^\circ \leq a_4 + a_8 \leq 147^\circ$  时,  $a_9$  的舒适范围为  $[12^\circ, 25^\circ]$ ,  $a_3$  的舒适范围为  $[a_4 + a_8 - 25^\circ, a_4 + a_8 - 12^\circ]$ ; 当  $a_{3_{\max}} + a_{9_{\min}} \leq a_4 + a_8 \leq a_{3_{\max}} + a_{9_{\max}}$  即  $147^\circ \leq a_4 + a_8 \leq 160^\circ$  时,  $a_9$  的舒适范围为  $[a_4 + a_8 - 135^\circ, 25^\circ]$ ,  $a_3$  的舒适范围为  $[a_4 + a_8 - 25^\circ, 135]$ ; 当  $a_{3_{\max}} + a_{9_{\max}} < a_4 + a_8 \leq a_{4_{\max}} + a_{8_{\max}}$  即  $160^\circ < a_4 + a_8 \leq 178^\circ$  时,  $a_9$ 、 $a_3$  在其舒适范围内取不到舒适的角度。

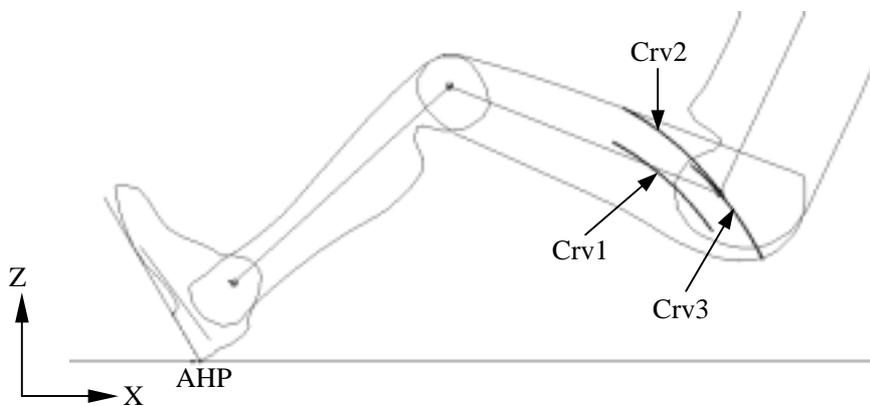


图 3-11  $a_8$ 、 $a_9$  已知条件下不同 H 点舒适线

●  $a_8$  已知条件下 H 点舒适区域的求取

由公式 3-7、3-8 可知: 当  $a_8$  已知,  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  在其各自的舒适范围内变化时, 对应的舒适 H 点范围为一个区域。当  $a_8$  在其舒适范围内取不同的值时,  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  实际可以取到的舒适角度范围也有所不同。下面研究当  $a_8$  取不同的值时  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  的实际可取的舒适角度范围的求解以及 H 点区域的求取。关于下面  $a_8$  的四个不同区域的划分是根据直线  $a_3 + a_9 = a_8 + a_{4_{\max}}$  和  $a_3 + a_9 = a_8 + a_{4_{\min}}$  与矩形 ABCD 的四条边界的交点不同而划分的, 即当  $a_8$  位于以下四个范围中的一个时,  $a_3 + a_9 = a_8 + a_{4_{\max}}$  和  $a_3 + a_9 = a_8 + a_{4_{\min}}$  始终与矩形 ABCD 固定的两条边相交。

1)  $46.5^\circ \leq a_8 \leq 48.5^\circ$

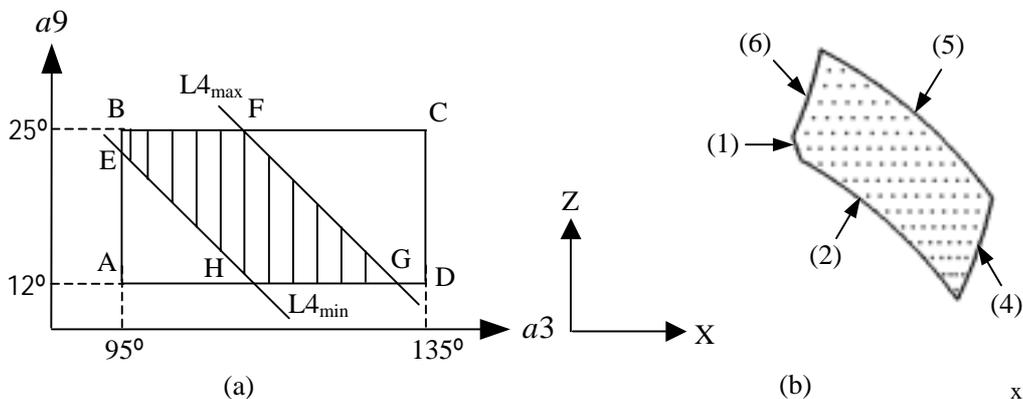


图 3-12  $46.5^\circ \leq a_8 \leq 48.5^\circ$  时舒适  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  及 H 点区域的求取

图 3-12(a)中横坐标为  $a_3$ ，纵坐标为  $a_9$ ，直线  $L_{4_{\min}}$  为当  $a_4$  取最小值  $71.5^\circ$  时  $a_4$ 、 $a_8$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  间的关系直线即  $a_3 + a_9 = a_8 + a_{4_{\min}}$ ，直线  $L_{4_{\max}}$  为当  $a_4$  取最大值  $98.5^\circ$  时  $a_4$ 、 $a_8$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  间的关系直线即  $a_3 + a_9 = a_8 + a_{4_{\max}}$ ，矩形 ABCD 为  $a_3$ 、 $a_9$  的舒适角度范围，直线  $L_{4_{\max}}$ 、 $L_{4_{\min}}$  间的区域为满足  $a_4$  在其舒适角度范围  $[a_{4_{\min}}, a_{4_{\max}}]$   $a_3$ 、 $a_9$  的可选区域。当  $a_8 \geq a_{8_{\min}}$  并且  $a_{4_{\min}} + a_8 \leq a_{9_{\max}} + a_{3_{\min}}$  即  $46.5^\circ \leq a_8 \leq 48.5^\circ$  时直线  $L_{4_{\max}}$ 、 $L_{4_{\min}}$  与矩形 ABCD 的位置关系如图所示。则矩形 ABCD 与直线  $L_{4_{\max}}$ 、 $L_{4_{\min}}$  间的区域的交集即图中阴影区域 EBFHG 就为  $46.5^\circ \leq a_8 \leq 48.5^\circ$  时  $a_8$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  舒适角度的实际可选区域。

可以证明当  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  在其舒适角度可选区域 EBFHG 的边界上变化时，得到的 H 点区域为一曲线五边形，如图 3-12(b)所示。其中曲线五边形的每一条边对应于多边形 EBFHG 的每一条边：曲线边(1)对应于多边形 EBFHG 的 EB 这条边，即当  $a_3 = a_{3_{\min}}$  时的 H 点舒适曲线；同理曲线边(2)为对应于 BF 当  $a_9 = a_{9_{\max}}$  时的 H 点舒适曲线；曲线边(4)为对应于 FG 当  $a_4 = a_{4_{\max}}$  时的 H 点舒适曲线；曲线边(5)为对应于 GH 当  $a_9 = a_{9_{\min}}$  时的 H 点舒适曲线；曲线边(6)为对应于 HE 当  $a_4 = a_{4_{\min}}$  时的 H 点舒适曲线；

当  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  在其舒适可选区域 EBFHG 中取某一点时，可以得到对应的一个 H 点。当  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  在其舒适可选区域 EBFHG 中取不同的点时，可以得到一系列 H 点云，如图 3-12(b)中点云所示。由图中可以看出对应于 EBFHG 中不同点的舒适 H 点均在 3-12(b)中的曲线五边多边形中，并且所有这些点布满整个五边多边形。由此可以证明：由曲线五边多边形的边界所确定的 H 点区域中的每一个 H 点均是舒适的 H 点，并且所有舒适的 H 点均在该曲线五边多边形内。

以下当  $a_8$  取不同的角度时舒适  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  角度范围及 H 点区域的求取与此相类似，在此不在详细叙述，仅仅简单讲述舒适 H 点区域边界与  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  角度的对应关系。

2)  $48.5^\circ \leq a_8 \leq 61.5^\circ$

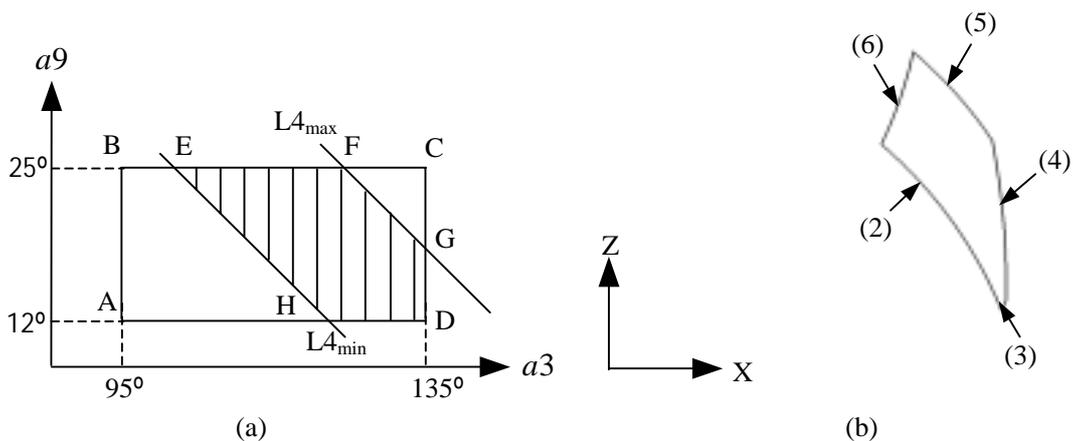


图 3-13  $48.5^\circ \leq a_8 \leq 61.5^\circ$  时舒适  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  及 H 点区域的求取

当  $a4_{\min} + a8 \geq a9_{\max} + a3_{\min}$  并且  $a4_{\max} + a8 \leq a9_{\max} + a3_{\max}$  即  $48.5^\circ \leq a8 \leq 61.5^\circ$  时,  $a4 = a4_{\max}$  对应的直线  $L4_{\max}$  和  $a4 = a4_{\min}$  对应的直线  $L4_{\min}$  与矩形 ABCD 间的位置关系如图 3-13(a)所示。对应的 H 点区域如图 3-13(b)曲线五边形所示。图中 H 点曲线(2)对应于当  $a9 = a9_{\max}$  时的 H 点曲线; 曲线(3)对应于当  $a4 = a4_{\max}$  时的 H 点曲线; 曲线(4)对应于当  $a3 = a3_{\max}$  时的 H 点曲线; 曲线(5)对应于当  $a9 = a9_{\min}$  时的 H 点曲线; 曲线(6)对应于当  $a4 = a4_{\min}$  时的 H 点曲线。

3)  $61.5^\circ < a8 < 75.5^\circ$

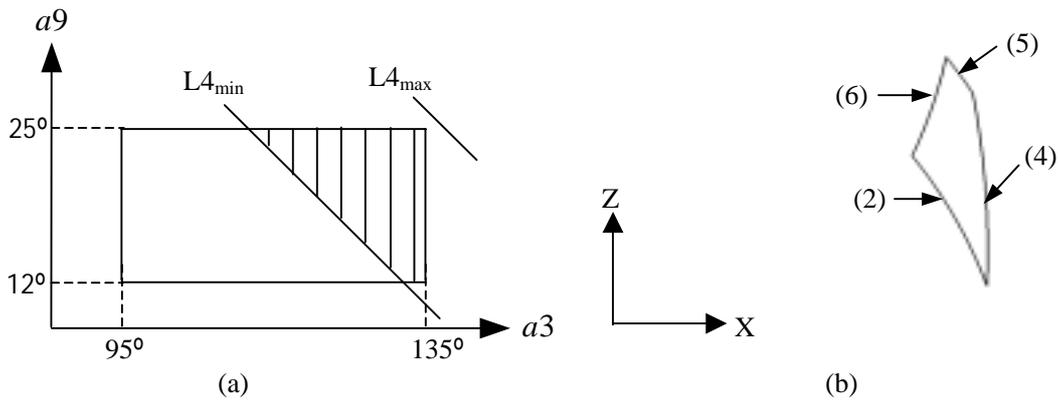


图 3-14  $61.5^\circ < a8 < 75.5^\circ$  时舒适  $a4$ 、 $a3$ 、 $a9$  及 H 点区域的求取

当  $a4_{\max} + a8 > a9_{\max} + a3_{\max}$  并且  $a4_{\min} + a8 < a3_{\max} + a9_{\min}$  即  $61.5^\circ < a8 < 75.5^\circ$  时,  $a4 = a4_{\max}$  对应的直线  $L4_{\max}$  和  $a4 = a4_{\min}$  对应的直线  $L4_{\min}$  与矩形 ABCD 间的位置关系如图 3-14(a)所示。对应的 H 点区域如图 3-14(b)曲线四边形所示。图中 H 点曲线(2)对应于当  $a9 = a9_{\max}$  时的 H 点曲线; 曲线(4)对应于当  $a3 = a3_{\max}$  时的 H 点曲线; 曲线(5)对应于当  $a9 = a9_{\min}$  时的 H 点曲线; 曲线(6)对应于当  $a4 = a4_{\min}$  时的 H 点曲线。

4)  $75.5^\circ \leq a8 \leq 76.5^\circ$

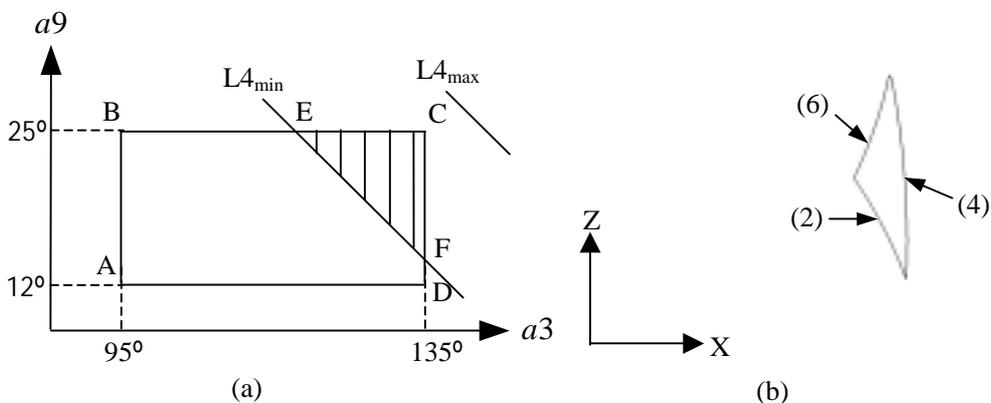


图 3-15  $75.5^\circ \leq a8 \leq 76.5^\circ$  时舒适  $a4$ 、 $a3$ 、 $a9$  及 H 点区域的求取

当  $a4_{\min} + a8 \geq a3_{\max} + a9_{\min}$  并且  $a8 \leq 76.5^\circ$  即  $61.5^\circ \leq a8 \leq 75.5^\circ$  时,  $a4 = a4_{\max}$  对应的直线  $L4_{\max}$  和  $a4 = a4_{\min}$  对应的直线  $L4_{\min}$  与矩形 ABCD 间的位置关系如图 3-15(a) 所示。对应的 H 点区域如图 3-15(b) 曲线四边形所示。图中 H 点曲线(2)对应于当  $a9 = a9_{\max}$  时的 H 点曲线; 曲线(4)对应于当  $a3 = a3_{\max}$  时的 H 点曲线; 曲线(6)对应于当  $a4 = a4_{\min}$  时的 H 点曲线。

● 不同  $a8$  及不同百分位人体模型对应的舒适 H 点区域比较

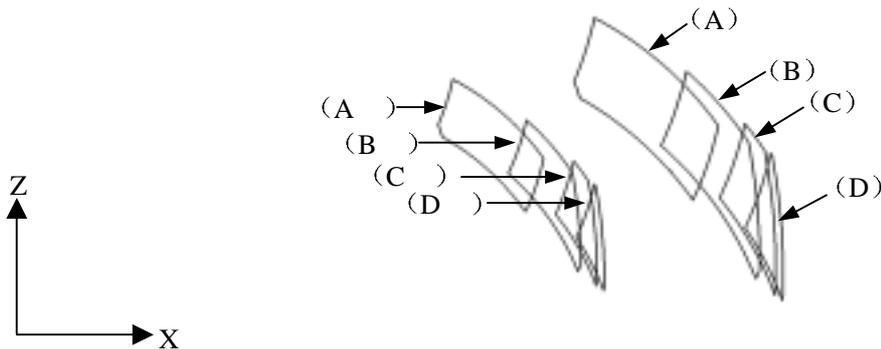


图 3-16 不同  $a8$  及不同百分位人体模型对应的舒适 H 点区域

由以上分析可知, 在不同的  $a8$  下得到的 H 点区域的形状和大小及在车身坐标系中的位置是不同的; 由于不同百分位人体模型肢体的尺寸有所不同, 在相同的  $a8$  下求的舒适 H 点区域的形状相似, 只是在车身坐标系中的位置不同。图 3-16 中(A)、(B)、(C)、(D) 为 SAE 第 95 百分位人体模型分别对应于  $46.5^\circ \leq a8 \leq 48.5^\circ$ 、 $48.5^\circ \leq a8 \leq 61.5^\circ$ 、 $61.5^\circ < a8 < 75.5^\circ$ 、 $75.5^\circ \leq a8 \leq 76.5^\circ$  的舒适 H 点区域; (A)、(B)、(C)、(D) 为 SAE 第 5 百分位人体模型分别对应于  $46.5^\circ \leq a8 \leq 48.5^\circ$ 、 $48.5^\circ \leq a8 \leq 61.5^\circ$ 、 $61.5^\circ < a8 < 75.5^\circ$ 、 $75.5^\circ \leq a8 \leq 76.5^\circ$  的舒适 H 点区域。

由图中可以看出: 对于同一人体模型, 随着  $a8$  的增大, 舒适 H 点区域的面积逐渐减小, H 点区域在车身坐标系中的位置逐渐后移并且降低; 对于不同百分位的人体模型在同一  $a8$  下, 随着人体模型尺寸的减小, 舒适 H 点区域的面积逐渐减小, H 点区域在车身坐标系中的位置逐渐前移并且降低。

1.1. 全关节角度变化时坐姿舒适性约束 H 点区域

在一定的踏板装置角下, 当驾驶员踵点已知时唯一的对应一个踏平面角  $a8$ 。在这种情况下,  $a4$ 、 $a3$ 、 $a9$  在其各自的舒适角度范围内变化时得到的舒适 H 点区域称为 **全关节角度变化时坐姿舒适性约束 H 点区域**。

1.1.1. 踏板参考点及踏板行程

对于平面踏板, 踏板参考点指的是在侧视图上距离踏板和地板交点 203mm 的点 P。而对于曲面踏板, 踏板参考点指的是在侧视图上到地板的切向距离为 203 的踏板侧向中心线上的点。如图 3-17 所示。当踏板参考点 P、拇趾参考点 BOF 和鞋底与踏板的切点间距离较大时说明所选择的踵点不合理或踏板布置不合理。踏板行程指的是在踏板旋转前后踏板参

考点之间的直线距离。

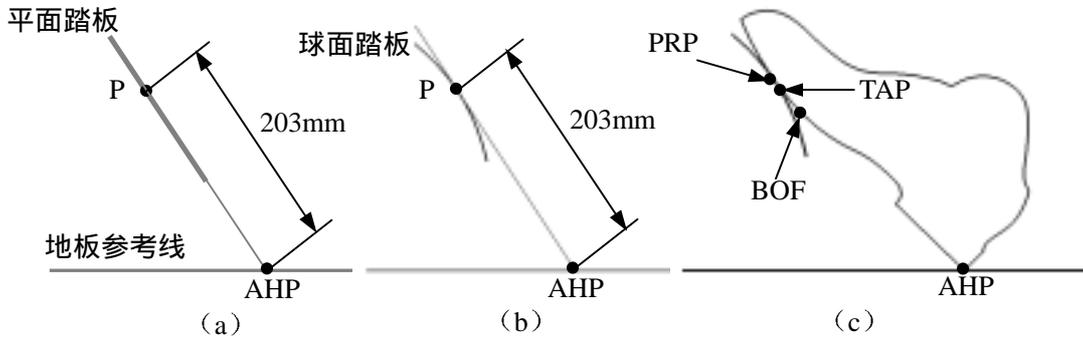


图 3-17 踏板参考点、拇趾参考点关系图

P: 踏板参考点 AHP: 踵点 BOF: 拇趾参考点 TAP: 鞋底平面与踏板平面的切点

### 1.1.2. 加速踏板自由状态下舒适 H 点区域

根据对相关车型的统计表明，轿车上常用的加速踏板通常为吊置式（踏板旋转中心在踏板上面），踏板装置角 $\theta$ 一般取 $60^\circ$ 。其优点是布置方便，结构简单；缺点是在踏板踏动时踏板的运动趋势和驾驶员脚的运动趋势相反，因此特别需要注意加速踏板和脚作用力点的位置。在这种条件下所选择的踏板参考点与拇趾参考点偏离不应太大。根据上述所讲的 $a_8$ 已知条件下 H 点舒适区域的求做可以求得对应于该踏板和踵点的舒适 H 点区域。如图 3-18 中曲线四变形 S1 所示。

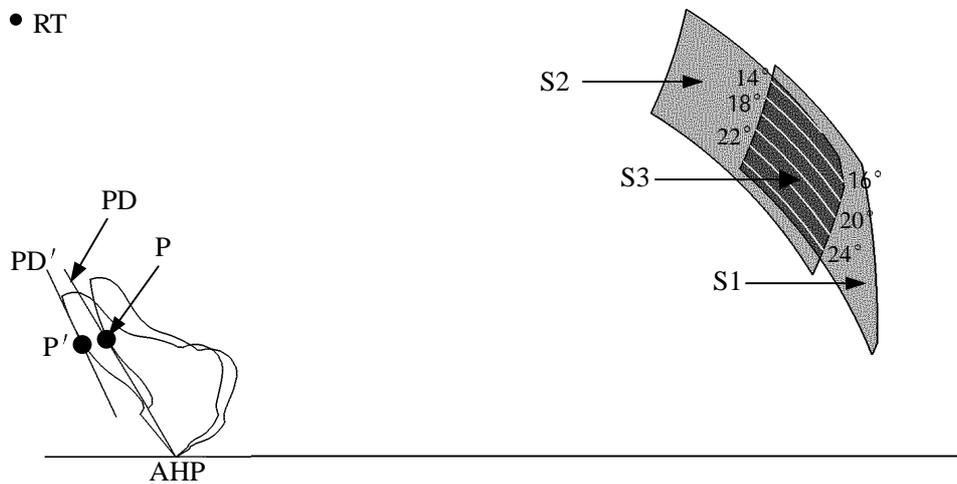


图 3-18 全关节角度变化时 H 点舒适区域求作示意图

S1: 踏板自由状态下的 H 点舒适域 S2: 踏板压下后的 H 点舒适域

S3: 满足踏板行程要求的 H 点舒适域

图中表有数字的一系列曲线为当 $a_9$ 等于该值时的 H 点舒适曲线

### 1.1.3. 考虑踏板行程的舒适 H 点区域

驾驶员在行车过程中通过改变加速踏板的角度来改变发动机的输出功率和车辆的行驶速度。在踏动踏板的过程中，驾驶员的  $a_8$  逐渐减小， $a_4$  增大， $a_3$  增大， $a_9$  减小。为保证驾驶员在踏动踏板过程中的舒适性，需要考虑加速踏板行程对于驾驶员舒适性的影响。这里所指的踏板行程指的是对应于一定油门开度下的踏板行程。根据对驾驶员驾驶经验的统计分析可知：当在市区内行车时，由于频繁的起步、停车，驾驶员需要不断的改变加速踏板的角度，在正常行使时常用的油门开度一般小于 50%。当在高速公路上行使时，由于路况良好，驾驶员很少在行使过程中改变油门开度，同时为获得较高的车速和燃油经济性需要采用较高的油门开度，在这种条件驾驶员一般采用 80% 的油门开度。即在高速公路上行使时，驾驶员要长时间保持油门开度为 80% 的驾驶姿势。由以上分析，在考虑加速踏板行程对于驾驶员的舒适性影响时，只需要考虑 80% 加速踏板行程内的舒适性即可。

图 3-18 中 RT 为踏板旋转中心，PD 为自由状态下的加速踏板，PD' 为对应于 80% 加速踏板行程的加速踏板位置。由此可以求得在加速踏板踏动 80% 时的驾驶员踏平面角  $a_8$ 。同理可以求得对应于该踏平面角下的舒适 H 点区域即为考虑加速踏板行程后的舒适 H 点区域，如图 3-18 中曲线四边形 S2 所示。

以上考虑了加速踏板自由状态和加速踏板踏下后的舒适 H 点区域，综合考虑这两种情况，即求得这两种情况下的舒适 H 点区域的交集即为在踏板行程内满足驾驶员舒适性的 H 点约束域。如图 3-18 中 S1 和 S2 的交集域 S3 所示。在踏板自由状态下，当  $a_9$  取某一个角度时，便可以求得对应于一定的踵点、 $a_8$  和  $a_9$  为已知条件下的舒适 H 点曲线。图 3-18 H 点舒适域 S3 中标有一系列数字的曲线即为对应于一定的  $a_9$  的舒适 H 点曲线，最终可以参考这些曲线选取设计 H 点。

## 1.2. $a_4 = 87^\circ$ 条件下坐姿舒适性约束 H 点区域

SAE 推荐的驾驶员 H 点适意线是在  $a_4 = 87^\circ$  条件下统计得到的，根据调研厂家实际设计情况和分析可知  $a_4 = 87^\circ$  有一定的实际意义：它可以尽可能在  $a_4$  舒适范围内满足踏板行程对驾驶员舒适性的要求。具体分析参见 64 页第四章 H 域法求解结果数据分析。

在已知 H 点的情况下，可以根据踵点和踏板可以确定脚的位置，也就可以确定踝关节在车身坐标系中的坐标；根据踝关节、H 点在车身坐标系中的坐标和大腿、小腿的长度便可以唯一的确定膝关节在车身坐标系中的位置；髌关节与设计 H 点重合。在确定了以上关节在车身坐标系中的位置后便可以唯一的定位人体模型。

在实际设计过程中，同时也存在另一种定位人体模型的方法：在定位第 95th 人体模型时使  $a_4 = 87^\circ$ ，将人体模型的和脚和小腿视为刚体。首先将人体模型的髌关节定位在 H 点，使人体模型脚跟点紧贴在地板上，地板线要考虑一定的地毯压塌量  $\Delta$ ，通常取  $\Delta = 5\text{mm}$ ；在以上这些条件下，将人体模型的脚跟点向前推（在推动过程中，人体模型的  $a_8$ ， $a_3$  逐渐增大， $a_9$  逐渐减小），直到脚底平面和加速踏板相切为止，此时所得到的脚跟点为对应于该 H 点下的踵点，人体模型的位置即为最终人体模型在车身坐标系中的定位。

第二种人体模型定位方法与传统定位人体模型的区别是：第二种定位人体模型方法中在定位人体模型前踵点未知，踵点是通过定位人体模型而得到的。同时不同的 H 点对应于

不同的踵点。针对第二种定位人体模型的方法，系统建立了相应的 H 点确定方法，称为  $a4 = 87^\circ$  条件下坐姿舒适性约束 H 点区域法。

### 1.2.1. 舒适踵点范围的确定

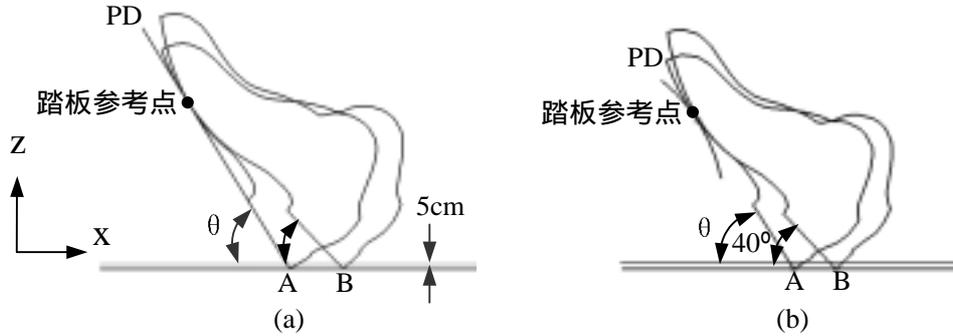


图 3-19 舒适踵点范围求解示意图

在轿车上常用的加速踏板形式有平面踏板和球面踏板两种形式，不同踏板形式所对应的踏板装置角的定义有所不同：对于平面踏板踏板装置角指的是在侧视图上踏板线与地板线的夹角；对于曲面踏板指的是在侧视图上过踏板参考点的切线与地板线的夹角。设其踏板装置角为  $\theta$ ，轿车一般取  $\theta < 70^\circ$ ，故平面踏板的舒适踏平面角度范围为  $[46.5^\circ, \theta]$ 。舒适踵点范围按以下方法确定：根据提供的地板线，考虑地板、地毯的压塌量  $\Delta$ ，一般取  $\Delta = 5\text{mm}$ ，在地板线的下方 5mm 处作与地板参考线相平行的直线作为压塌后的地板线，使脚样板的脚跟点紧贴在压塌后的地板线上，脚底面与踏板面相切，并且使踏平面角在舒适踏平面角范围内变化时所得到的脚跟点的范围便为舒适踵点范围。如图 3-19(a)、(b)所示，其舒适踵点范围为  $[A, B]$ ，最前舒适踵点对应于踏板装置角  $\theta$ ，最后舒适踵点对应于最小舒适踏平面角  $46.5^\circ$ 。当脚跟点位于舒适踵点范围  $[A, B]$  内时便可以保证踏平面角  $a8$  的舒适性。

### 1.2.2. 加速踏板自由状态下舒适 H 点区域的求取

根据前面的讲述我们可以知道：在一定的踵点下，当  $a8$ 、 $a4$  已知时舒适 H 点的范围为对应于该踵点下的一条曲线。如图 3-20 所示，将舒适踵点范围  $[A, B]$  离散成一系列的点，则对应于每一个踵点可以求得唯一的踏平面角  $\varphi$ 。由此在每一个踵点可以求得对应于该踵点并且  $a4 = 87^\circ$  的一条舒适 H 点曲线。图中曲线  $C1$  为对应于踵点 B 的 H 点舒适曲线； $Cn$  为对应于踵点 A 的 H 点舒适曲线。所有对应于不同踵点的舒适 H 点曲线扫描过的区域便为对应于舒适踵点范围  $[A, B]$  在  $a4 = 87^\circ$  条件下的舒适 H 点区域，如图 3-20 中阴影区域  $S_u$  所示。

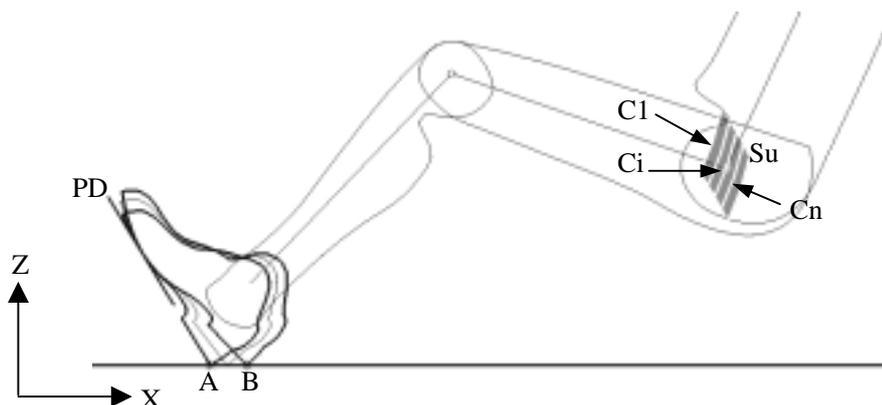


图 3-20  $a4 = 87^\circ$  条件下对应于踏板自由状态的舒适 H 点区域

A、B：踏板自由状态下的舒适踵点范围

$C1$ 、 $Ci$ 、 $Cn$ ：对应于不同踵点的舒适 H 点曲线

$S_u$ ：对应于踏板自由状态舒适踵点范围  $[A, B]$  的舒适 H 点区域

### 1.2.3. 考虑踏板行程的舒适 H 域的求取

与自由状态下加速踏板的舒适踵点范围  $[A, B]$  的确定方法相同，可以得到对应于加速踏板踏下一定行程后位置的舒适踵点范围  $[C, D]$ ，如图 3-21 所示。则对应于踏板踏下前、后位置的舒适踵点范围的交集  $[A, D]$  为满足踏板行程对  $a_8$  舒适性要求的公共舒适踵点范围。即在该踵点舒适范围  $[A, D]$  内任一点，在踏板行程内均可以保证踏平面角  $a_8$  的舒适性。

在踏板自由状态时求得的 H 点舒适区域是对应于舒适踵点范围  $[A, B]$ ，同时利用该方法求得的 H 点舒适区域与舒适踵点范围是一一对应的。在考虑踏板行程后，舒适踵点范围由  $[A, B]$  减小为  $[A, D]$ ，因此要对对应于  $[A, B]$  的踏板自由状态下的 H 点舒适区域  $S_u$  进行修正，使其对应于公共舒适踵点范围  $[A, D]$ 。具体求作方法同踏板自由状态下舒适 H 点区域。如图 3-21 中， $S_u$  为对应于舒适踵点范围  $[A, B]$  踏板自由状态下的 H 点舒适区域， $S_u'$  为修正后对应于公共舒适踵点范围  $[A, D]$  踏板自由状态下的舒适 H 点区域。

在踏板自由状态下，H 点舒适区域是在  $a_4 = 87^\circ$  条件下求得的。在踏板踏下后， $a_8$  相应减小， $a_4$  增大，因此在踏板踏下过程中， $a_4$  的舒适范围为  $[87^\circ, 105^\circ]$ 。根据  $a_8$  已知条件下 H 点舒适区域的求作可知：对应于一定的踵点，在  $a_8$  已知， $a_3$ 、 $a_9$ 、 $a_4$  在其各自的舒适范围内变化时的舒适 H 点范围为一区域。同理对应于公共舒适踵点范围  $[A, D]$  内的不同踵点，均可以得到对应于加速踏板踏下后的 H 点舒适区域  $K_i$ ，与前述所不同的是在这种条件下  $a_4$  的舒适范围为  $[87^\circ, 105^\circ]$ 。所有对应于不同踵点的 H 点舒适区域  $K_i$  的交集域  $S_d$  便为对应于公共舒适踵点范围  $[A, D]$ ，加速踏板踏下后的 H 点舒适区域。即在该区域内的任一 H 点对应于踏下后加速踏板位置的人体模型均是舒适的。

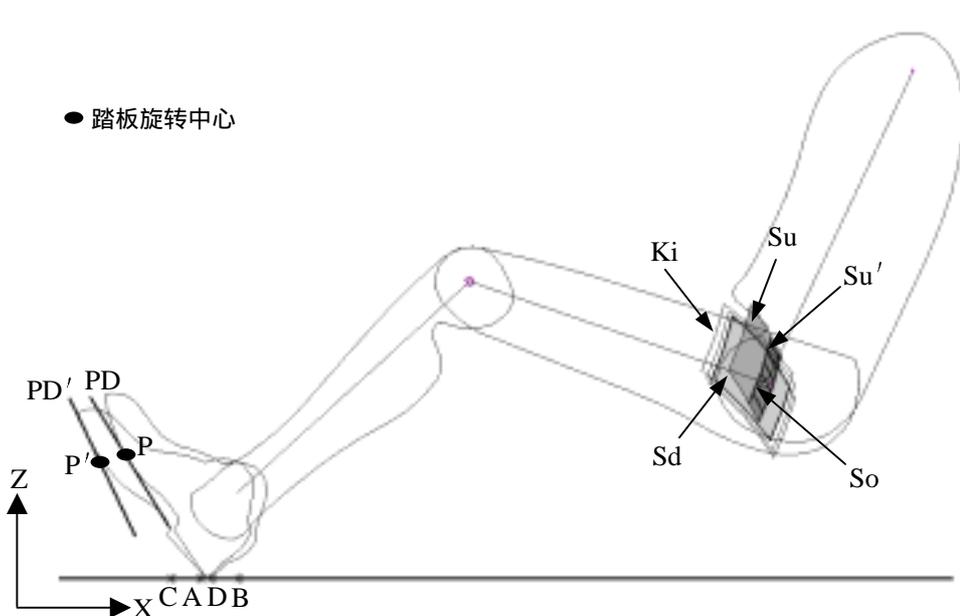


图 3-21 考虑踏板行程后的 H 点舒适域

xlvi

- PD: 自由状态下的加速踏板
- PD': 考虑踏板行程后的加速踏板
- P: 自由状态加速踏板的参考点
- P': 加速踏板踏下后的踏板参考点
- A、B: 踏板自由状态时舒适踵点范围
- C、D: 加速踏板踏下后的舒适踵点范围
- K<sub>i</sub>: 加速踏板踏下后对应不同踵点的 H 点舒适区域
- S<sub>u</sub>: 对应  $[A, B]$  的踏板自由状态的 H 点舒适区域
- S<sub>u'</sub>: 对应于  $[A, D]$  的踏板自由状态的 H 点舒适区域
- S<sub>d</sub>: 加速踏板踏下后对应  $[A, D]$  的 H 点舒适区域

以上讲述了考虑踏板行程的公共舒适踵点范围 $[A、D]$ 及在 $[A、D]$ 内对应于踏板自由状态和踏板踏下后两种极限状态下的 H 点舒适区域  $Su'$  和  $Sd$ 。这两个 H 点舒适区域的交集  $So$  就为在整个踏板行程范围内满足驾驶员下肢舒适性要求的 H 点区域。即在该区域内的任一 H 点，在整个加速踏板行程过程中均可以保证驾驶员的舒适性。

## 2. 驾驶员上肢坐姿舒适性约束

驾驶员以正常驾驶姿势坐在座椅上手握方向盘时，为满足驾驶员上肢的舒适性约束，方向盘中心和 H 点之间的相对位置关系需要满足一定的约束条件。同驾驶员下肢的舒适性约束相似，在保证驾驶员上肢舒适的情况下，我们可以得到一满足上肢舒适的 H 域。

影响上肢舒适性的角度为  $a_1、a_5、a_6、a_7$ ，如图 3-5 所示。图 3-22 为手握姿模型<sup>[36]</sup>，其中  $M$  点为手中心点， $W$  点为腕关节点，直线  $L_h$  为侧视图上手的中心线。腕关节  $W$  到手中心点  $P$  的直线  $WP$  与手中心线的夹角为  $112^\circ$ 。小臂中心线与手中心线  $L_h$  的舒适角度为  $102^\circ \sim 122^\circ$ ，这也就相当于小臂中心线与直线  $WP$  的舒适夹角为  $-10^\circ \sim 10^\circ$ 。如图 3-23 所示当驾驶员以正常驾驶坐姿坐在座椅上、手握方向盘时，在侧视图上的手中心点  $P$  与方向盘的中心点  $S$  相重合，手中心线  $L_h$  与方向盘相重合。此时我们定义手中心线与水平线  $l_1$  的夹角为  $a_{21}$ （向上为正，向下为负）。当给定一个  $a_{21}$  角度时，我们便可以求出小臂  $L_6$  与水平线之间的舒适夹角  $a_{20}$  舒适范围为  $[a_{21}-10, a_{21}+10]$ ，此时  $a_{21}$  角向上为负，向下为正。

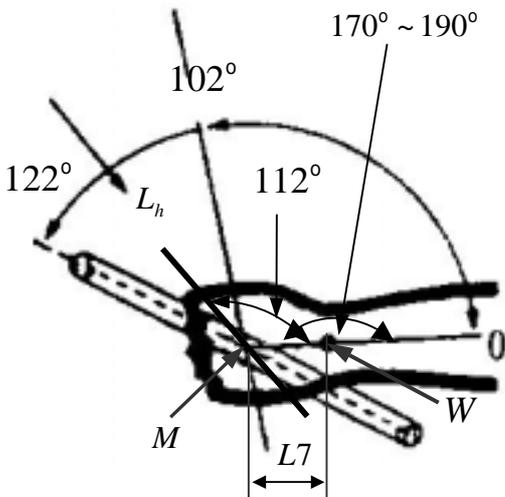


图 3-22 驾驶员手握姿模型

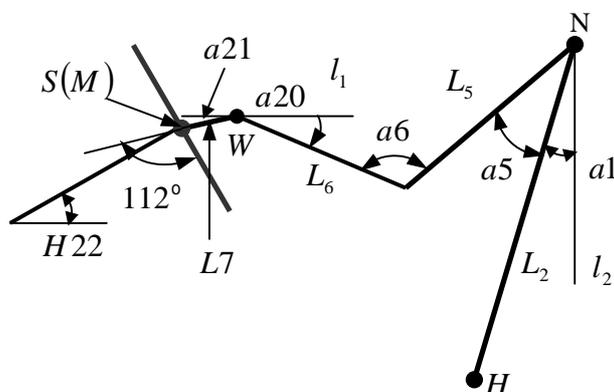


图 3-23 人体上肢对 H 点约束数学模型

$L_h$ : 手中心线    P: 手中心点    S: 侧视图上方向盘中心点    W: 腕关节点

根据图 3-23 中几个角度的几何关系，我们可以得到以下方程式：

$$a6 + a20 = 90 + a1 + a5 \quad (3-9)$$

我们设方向盘中心点坐标为  $[X_s, Z_s]$ ，腕关节  $W$  点的坐标为  $[X_w, Z_w]$ ，则：

$$\begin{cases} X_w = X_s + L7 \cdot \cos(112 - H22) \\ Z_w = Z_s + L7 \cdot \sin(112 - H22) \end{cases} \quad (3-10)$$

$H$  点  $[X_H, Z_H]$  相对于腕关节  $W$  的坐标为：

$$\begin{cases} X_H = X_w + L6 \cdot \cos(a20) + L5 \cdot \sin(a5 + a1) - L2 \cdot \sin(a1) \\ Z_H = Z_w - L6 \cdot \sin(a20) + L5 \cdot \cos(a5 + a1) - L2 \cdot \cos(a1) \end{cases} \quad (3-11)$$

由 (3-10) 式和 (3-11) 式得  $H$  点相对于  $S$  点的坐标为 (3-12)：

$$\begin{cases} X_H = X_s + L7 \cdot \cos(112 - H22) + L6 \cdot \cos(a20) + L5 \cdot \sin(a5 + a1) - L2 \cdot \sin(a1) \\ Y_H = Y_s + L7 \cdot \sin(112 - H22) - L6 \cdot \sin(a20) + L5 \cdot \cos(a5 + a1) - L2 \cdot \cos(a1) \end{cases}$$

当  $a20$  在舒适范围内变化时，根据上式可以得到一关于  $H$  点的舒适域，具体求作方法同下肢的约束域求解，在此不在具体叙述。

### 3. 方向盘对于 $H$ 点位置的约束<sup>[37]</sup>

驾驶员以正常驾驶姿势坐在座椅上，在行使过程中为保证行车安全驾驶员要经常制动减速。由于制动踏板在布置上高于加速踏板，因此驾驶员在制动过程中要将腿抬起，使脚从加速踏板移动到制动踏板上。为保证驾驶员在抬腿过程中不碰及方向盘以影响行车安全，方向盘最低点到大腿需保证有足够的空间；同样为了保证安全性，方向盘最低点到驾驶员躯干也应有足够的空间。由于  $H$  点是大腿和躯干的铰接点，因此在方向盘的位置确定后，为保证大腿和方向盘间的最小距离、躯干和方向盘间的最小距离，对于  $H$  点的位置提出了一定的约束。

在 SAE J1100 中，为保证方向盘有足够的操纵空间及安全性，推荐了以下几个硬点尺寸：

H74—方向盘与座垫表面的最小距离

H13—方向盘最下边缘与人体模型大腿中心线的最小距离

L22—方向盘最下边缘到座椅靠背的最小距离

L7—方向盘最后边缘到人体模型靠背线(躯干中心线)的最小距离

其中 H74 和 L22 是通过方向盘与座椅的相对位置对该约束提出硬点要求；而 H13 和 L7 是通过方向盘与驾驶员之间的相对位置关系对该约束提出硬点要求的。在实际设计中一般采用 H74 和 L22 这两个硬点。但是座椅的靠背与座垫的表面形状一般考虑人体背廓形状、体压分布等因素，故设计不规则。在这样的条件下要针对不同的座椅找到座椅与方向盘之间的最小距离是比较困难的。为了数学建模方便，我们用 H13 和 L7 来提出约束，因为它们都是为了控制躯干和大腿相对于方向盘的操作空间，因此在本质上是一致的。

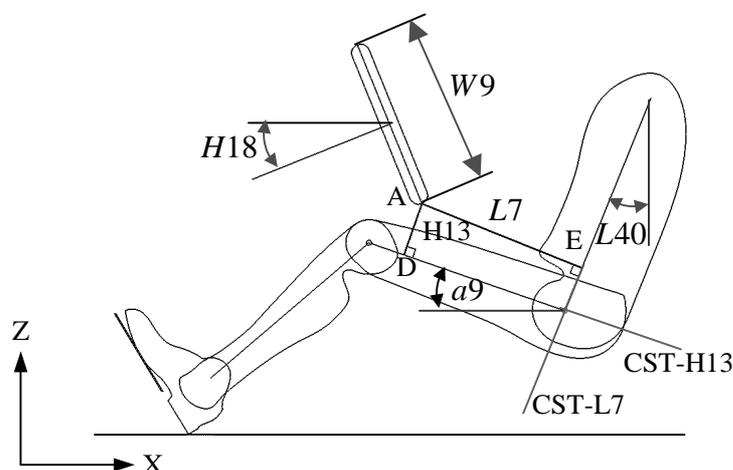


图 3-24 方向盘位置对 H 点约束示意图

设方向盘中心坐标为  $W(X_W, Y_W, Z_W)$ ，H 点坐标为  $H(X_H, Y_H, Z_H)$ ，有关硬点尺寸定义如下：

W9—方向盘最大直径

H18—方向盘倾角

L40—座椅靠背角

$\alpha_9$ —大腿轴线与水平面的夹角

则 A 点坐标为：

$$\begin{cases} X_A = X_W + W9 \cdot \sin(H18) / 2 \\ Z_A = Z_W - W9 \cdot \cos(H18) / 2 \end{cases} \quad (3-13)$$

D 点坐标为：

$$\begin{cases} X_D = X_A - H13 \cdot \sin(a9) \\ Z_D = Z_A - H13 \cdot \cos(a9) \end{cases} \quad (3-14)$$

E 点坐标为:

$$\begin{cases} X_E = X_A + L7 \cdot \sin(L40) \\ Z_E = Z_A - L7 \cdot \cos(L40) \end{cases} \quad (3-15)$$

$$\text{故} \quad \text{tg}(90^\circ - L40) = \frac{Z_E - Z_H}{X_E - X_H} = \frac{Z_A - L7 \cdot \sin(L40) - Z_H}{X_A + L7 \cdot \cos(L40) - X_H} \quad (3-16)$$

$$\text{tg}(a9) = \frac{Z_D - Z_H}{X_H - X_D} = \frac{Z_A - H13 \cdot \cos(a9) - Z_H}{X_H + H13 \cdot \sin(a9) - X_A} \quad (3-17)$$

$$\text{不妨令} \quad \begin{cases} Z = Z_A - Z_H \\ X = X_A - X_H \end{cases} \quad (3-18)$$

故(3-16)、(3-17)式可以化简为:

$$\text{tg}(90^\circ - L40) = \frac{Z - L7 \cdot \sin(L40)}{X + L7 \cdot \cos(L40)} \quad (3-19)$$

$$\text{tg}(a9) = \frac{Z - H13 \cdot \cos(a9)}{-X + H13 \cdot \sin(a9)} \quad (3-20)$$

即有:

$$\begin{cases} Z - L7 \cdot \sin(L40) = \text{tg}(90^\circ - L40) \cdot X + L7 \cdot \cos(L40) \cdot \text{tg}(90^\circ - L40) \\ Z - H13 \cdot \cos(a9) = -\text{tg}(a9) \cdot X + H13 \cdot \sin(a9) \cdot \text{tg}(a9) \end{cases} \quad (3-21)$$

将(3-13)代入(2-21)化简得:

$$\begin{cases} Z_H = \text{tg}(90^\circ - L40) \cdot X_H - L7 / \sin(L40) + \Delta 1 \\ Z_H = -\text{tg} \alpha 9 \cdot X_H - H13 / \cos \alpha 9 + \Delta 2 \end{cases} \quad (3-22)$$

其中:

$$\begin{cases} \Delta 1 = Z_w - W9 \cdot \cos(H18) / 2 - \text{tg}(90^\circ - L40) \cdot (X_w + W9 \cdot \sin(H18) / 2) \\ \Delta 2 = Z_w - W9 \cdot \cos(H18) / 2 + \text{tg}(\alpha 9) \cdot (X_w + W9 \cdot \sin(H18) / 2) \end{cases} \quad (3-23)$$

在给定方向盘中心点, 有关设计参数已知的条件下, 可以通过公式(3-22)来求得两条直线  $CST - H13$  和  $CST - L7$ , 则直线  $CST - H13$  下方和直线  $CST - L7$  右侧的交集域就为满足方向盘对驾驶员点约束的 H 点区域。

### 3.1. 驾驶员上下视野对于 H 点位置的约束

驾驶员上视角指的是前风窗上部分可见部分的最下边缘与第 95 百分位的眼

椭圆上半部分的切线与水平面的夹角。下视角指的是发动机罩与第 95 百分位的眼椭圆下半部分的切线与水平面的夹角<sup>[38]</sup>。根据法规要求：上视角一般要求能保证看到停车线前 12 米远 5 米高的交通信号指示灯，下视角一般要求能保证看到停车线前 6 米远的地面上的一点。关于上下视角的选取，一般要求上视角不小于 7°，下视角不小于 5°。

在第二章讲述了眼椭圆的定位，根据眼椭圆的定位公式我们知道：眼椭圆的尺寸及其在车身坐标系中的位置是以 H 点为基准点，与座椅靠背角和座椅水平行程有关。根据眼椭圆的意义可知：眼椭圆及其切线相结合应用表示了落在切线一侧的驾驶员眼睛数占驾驶员总数的百分数。因此 H 点在车身坐标系中的位置决定了驾驶员眼睛在车身中的位置，也就决定了驾驶员的视野性。视野校核时，由 H 点出发，而后可以定位眼椭圆来进行校核。反过来，若上下视角已知，过法规要求点分别作与水平线夹角为上下视角的直线，这两条直线可以用来约束眼椭圆，进而通过眼椭圆来约束 H 点，这就是视野约束的原理。

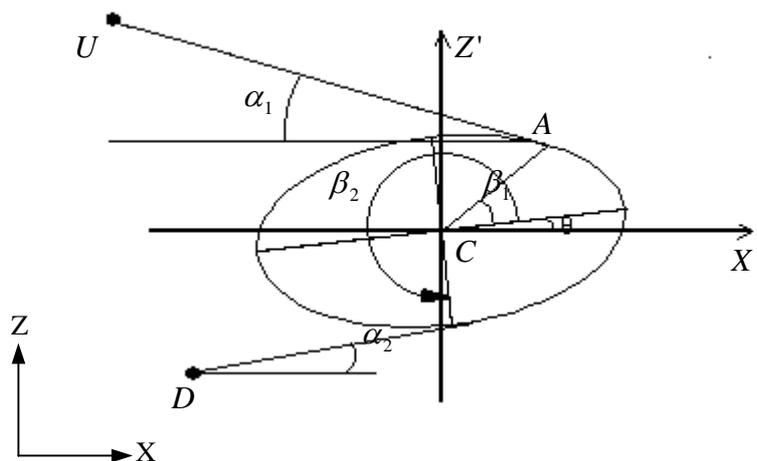


图 3-25 驾驶员上下视野对 H 点位置约束示意图

- |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| $U$ ：上视野法规要求点 $U(X_U, Z_U)$  | $D$ ：下视野法规要求点 $D(X_D, Z_D)$  |
| $C$ ：眼椭圆定位中心 $C(X_C, Z_C)$   | $A$ ：上切点 $A(X_A, Z_A)$       |
| $\theta$ ：眼椭圆在侧视图上的倾斜角       | $\beta_1、\beta_2$ ：切点处的上、下极角 |
| $\alpha_1、\alpha_2$ ：上视角和下视角 |                              |

在整体坐标系  $XZ$  下，眼椭圆的直角平面坐标系方程为：

$$\frac{[(X - X_C) \cdot \cos \theta + (Z - Z_C) \cdot \sin \theta]^2}{a^2} + \frac{[(Z - Z_C) \cdot \cos \theta - (X - X_C) \cdot \sin \theta]^2}{b^2} = 1 \quad (3-24)$$

其中,  $a$  为椭圆的长半轴,  $b$  为椭圆的短半轴。化为极坐标方程为:

$$\begin{cases} (X - X_C) \cdot \cos \theta + (Z - Z_C) \cdot \sin \theta = a \cdot \cos \phi \\ -(X - X_C) \cdot \sin \theta + (Z - Z_C) \cdot \cos \theta = b \cdot \sin \phi \end{cases} \quad (3-25)$$

式中,  $\phi$  为极角, 即相对于椭圆长轴的夹角, 逆时针为正, 顺时针为负。

由公式(2-27)可解得:

$$\begin{cases} X = X_C + a \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi - b \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi \\ Z = Z_C + a \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi + b \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi \end{cases} \quad (3-26)$$

故任意一点处的斜率为

$$k = \frac{\partial Z}{\partial X} = \frac{dZ/d\phi}{dX/d\phi} = \frac{a \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi - b \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi}{a \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi + b \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi} \quad (3-27)$$

### 3.1.1. 上视野对 H 点约束关系

如图 3-25 所示, 切点为  $A$ , 极角为  $\beta_1$ , 故椭圆上  $A$  点的斜率为:

$$k_1 \Big|_{\phi=\beta_1} = \frac{a \cdot \sin \theta \cdot \sin \beta_1 - b \cdot \cos \theta \cdot \cos \beta_1}{a \cdot \cos \theta \cdot \sin \beta_1 + b \cdot \sin \theta \cdot \cos \beta_1} \quad (3-28)$$

而又已知上视角为  $\alpha_1$ , 故上切线斜率为  $k_1 = -\text{tg} \alpha_1$ , 代入(3-28), 可求得

$$\beta_1 = \text{tg}^{-1} \left( \frac{b \cdot [\cos \theta + (-\text{tg} \alpha_1) \cdot \sin \theta]}{a \cdot [\sin \theta - (-\text{tg} \alpha_1) \cdot \cos \theta]} \right) \quad (3-29)$$

将  $\beta_1$  代入式(3-26), 可得

$$\begin{cases} X \Big|_{\theta=\beta_1} = X_A = X_C + a \cdot \cos \theta \cdot \cos \beta_1 - b \cdot \sin \theta \cdot \sin \beta_1 \\ Z \Big|_{\theta=\beta_1} = Z_A = Z_C + a \cdot \sin \theta \cdot \cos \beta_1 + b \cdot \cos \theta \cdot \sin \beta_1 \end{cases} \quad (3-30)$$

设:

$$\begin{cases} \Delta 1 = a \cdot \cos \theta \cdot \cos \beta_1 - b \cdot \sin \theta \cdot \sin \beta_1 \\ \Delta 2 = a \cdot \sin \theta \cdot \cos \beta_1 + b \cdot \cos \theta \cdot \sin \beta_1 \end{cases} \quad (3-31)$$

故公式(2-30)可化为

$$\begin{cases} X_A = X_C + \Delta 1 \\ Z_A = Z_C + \Delta 2 \end{cases} \quad (3-32)$$

设  $H$  点的坐标为  $H(X_H, Z_H)$ , 眼椭圆定位中心如下确定:

$$\begin{cases} X_C = X_H + \Delta 3 \\ Z_C = Z_H + \Delta 4 \end{cases} \quad (3-33)$$

式(2-33)中, 当座椅调节行程大于 133mm 时,

$$\begin{cases} \Delta 3 = -259.91472 + 10.281641 \cdot L40 - 0.032032 \cdot (L40)^2 \\ \Delta 4 = 653.71757 + 0.398747 \cdot L40 - 0.059301 \cdot (L40)^2 \end{cases} \quad (3-34)$$

当座椅调节行程大于 100mm 但小于 133mm 时,

$$\begin{cases} \Delta 3 = -247.71472 + 10.231641 \cdot L40 - 0.032032 \cdot (L40)^2 \\ \Delta 4 = 655.01757 + 0.398747 \cdot L40 - 0.059301 \cdot (L40)^2 \end{cases} \quad (3-35)$$

故有:

$$\begin{cases} X_A = X_H + \Delta 1 + \Delta 3 \\ Z_A = Z_H + \Delta 2 + \Delta 4 \end{cases} \quad (3-36)$$

又上切线的直线方程为

$$Z - Z_U = k_1(X - X_U) \quad (3-37)$$

$(X_A, Z_A)$  应该满足直线方程, 将(3-36)代入式(3-37), 化简后可得

$$Z_H = k_1 X_H + k_1(\Delta 1 + \Delta 3) - (\Delta 2 + \Delta 4) + (Z_U - k_1 X_U) \quad (3-38)$$

### 3.1.2. 下视野对 H 点约束关系

对下视野, 原理同上, 只是极角不同, 设为  $\beta_2$ 。此时下切线的斜率为

$$k_2 = \text{tg} \alpha_2 \quad (3-39)$$

若  $\alpha_2 < \theta$ , 则  $180^\circ < \beta_2 < 270^\circ$ , 此时  $\beta_2$  为

$$\beta_2 = 180^\circ + \text{tg}^{-1} \left( \frac{b \cdot [\cos \theta + k_2 \cdot \sin \theta]}{a \cdot [\sin \theta - k_2 \cdot \cos \theta]} \right) \quad (3-40)$$

若  $\alpha_2 > \theta$ , 则  $270^\circ < \beta_2 < 360^\circ$ , 此时  $\beta_2$  为

$$\beta_2 = 360^\circ + \text{tg}^{-1} \left( \frac{b \cdot [\cos \theta + k_2 \cdot \sin \theta]}{a \cdot [\sin \theta - k_2 \cdot \cos \theta]} \right) \quad (3-41)$$

若  $\alpha_2 = \theta$ , 则此时  $\beta_2 = 270^\circ$ 。

同上理可得:

$$Z_H = k_2 X_H + k_2(\Delta 5 + \Delta 3) - (\Delta 6 + \Delta 4) + (Z_D - k_2 X_D) \quad (3-42)$$

式(3-42)中,  $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$  的定义同上,  $\Delta 5$ 、 $\Delta 6$  如下:

$$\begin{cases} \Delta 5 = a \cdot \cos \theta \cdot \cos \beta_2 - b \cdot \sin \theta \cdot \sin \beta_2 \\ \Delta 6 = a \cdot \sin \theta \cdot \cos \beta_2 + b \cdot \cos \theta \cdot \sin \beta_2 \end{cases} \quad (3-43)$$

公式(3-38)、(3-43)就为上下视野对驾驶员 H 点位置约束公式，由公式我们可以看出：上下视野对 H 点的约束为两条直线，两条直线间的区域为满足上下视野约束的 H 点区域。

### 3.2. 腿部操纵空间对 H 点位置的约束

操作空间的约束在系统中仅考虑小腿空间 L34 对 H 点的约束。L34 在 SAE J1100 中的定义为：

L34—加速踏板在自由位置时，人体模型的踝关节到 SgRP 点的距离加上 254mm。

根据对相关车型硬点数据的统计表明 L34 的取值为 1000~1100mm。

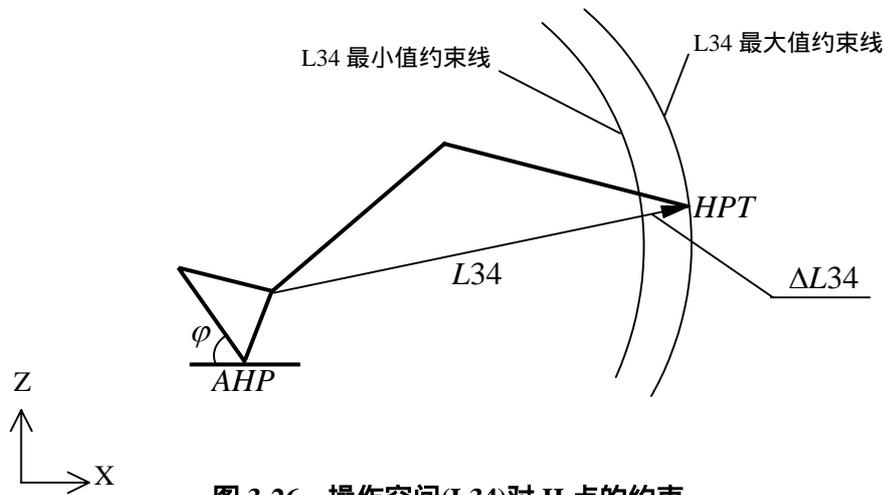


图 3-26 操作空间(L34)对 H 点的约束

图 3-26 为 L34 对 H 点的约束图，系统假设 AHP 的坐标和踏板角  $\varphi$  已知，根据不同的百分位可以计算出踝关节的位置。以踝关节为原点，以 L34 为半径，可作 L34 在一定变化范围内的曲线，通过它来约束 H 点。

从上图可见，在 L34 最小值约束线和 L34 最大值约束线之间的区域即为满足 L34 约束的 H 点区域。

其它一些操作空间的约束如 L13(制动踏板在自由位置时，侧视图上方向盘轮缘最下边缘点到制动踏板表面中心线的最小距离)等也间接地对 H 点产生影响，在此不作为约束因素，仅在布置时作为校核的硬点加以考虑。如我们在布置踏板时，将 L13 作为校核的硬点以验证踏板布置是否合理。

### 3.3. 顶盖对 H 点位置的约束

在 SAE J1100 中，由两个硬点尺寸来保证足够的头部空间，它们分别是 H61、H63，其定义如下：

H61(前排有效头部空间)—前座 SgRP 点向上与垂直线成  $8^\circ$  的线到驾驶员头顶处车高之间的距离再加 102mm。

H63(后排有效头部空间)—后座 SgRP 点向上与垂直线成  $8^\circ$  的线到乘员头顶处车高之间的距离再加 102mm。

以 H61 为例，其示意图如图 3-27 所示。

下面先确定驾驶员头顶处的车内高线(headlining)的高度，设其 Z 轴坐标为  $Z_{HD}$ 。

在约束时，汽车设计高度  $H101$  是已知的，假设车顶总厚度为  $H_T$ ，考虑到驾驶员头顶处车高并非是汽车的最大高度，设它到汽车最高处的修正值为  $\Delta$ ，故有：

$$Z_{HD} = H101 - H_T - \Delta \quad (3-44)$$

对于车顶总厚度(材料、衬里、绝垫材料)  $H_T$ ，一般取为 15~20 毫米<sup>[21]</sup>。修正值  $\Delta$  的值一般取为 20~40 毫米<sup>[7]</sup>。

确定了  $Z_{HD}$  后，就可以求出在 H61 约束下的 H 点高度线。设此高度线的 Z 轴坐标为  $Z_{HPT}$ ，则有

$$Z_{HPT} = Z_{HD} - (H61 - 102) \cdot \cos(8^\circ) \quad (3-45)$$

要求 H 点的确定必须在该高度线的下方，这样设计的 H 点就可以满足头部空间的要求。

顶盖的约束主要是 H 点高度方向上的约束，检验 H30 的确定是否合理。

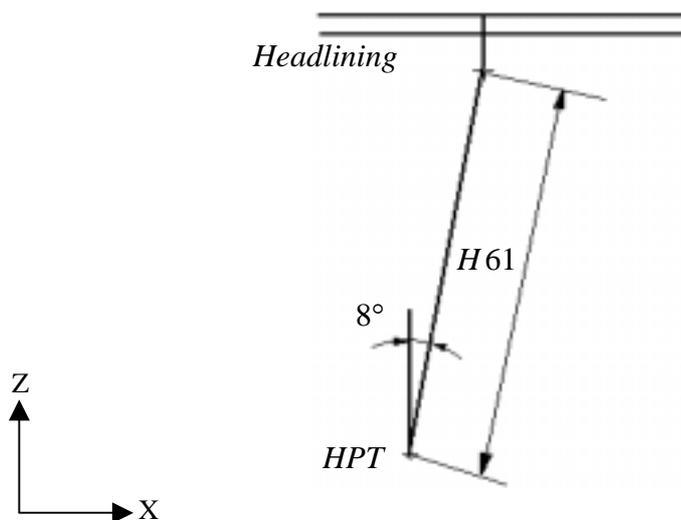


图 3-27 有效头部空间示意图

### § 3.2.3 H 点的优化

在上述 H 点区域法中讲述了全关节角度变化时舒适性对 H 点的约束、 $a_4 = 87^\circ$  条件下舒适性对 H 点的约束、方向盘对 H 点的约束、视野对 H 点的约束、腿部操纵空间对 H 点的约束、顶盖对 H 点的约束。其中将全关节角度变化时舒适性对 H 点的约束与方向盘对 H 点的约束、视野对 H 点的约束、腿部操纵空间对 H 点的约束、顶盖对 H 点的约束联合使用便构成了全关节角度变化时的 H 点功能区域法；将  $a_4 = 87^\circ$  条件下舒适性对 H 点的约束与方向盘对 H 点的约束、视野对 H 点的约束、腿部操纵空间对 H 点的约束、顶盖对 H 点的约束联合使用便构成了  $a_4 = 87^\circ$  条件下的 H 点功能区域法。

#### 1. 全关节角度变化时的 H 点功能区域法

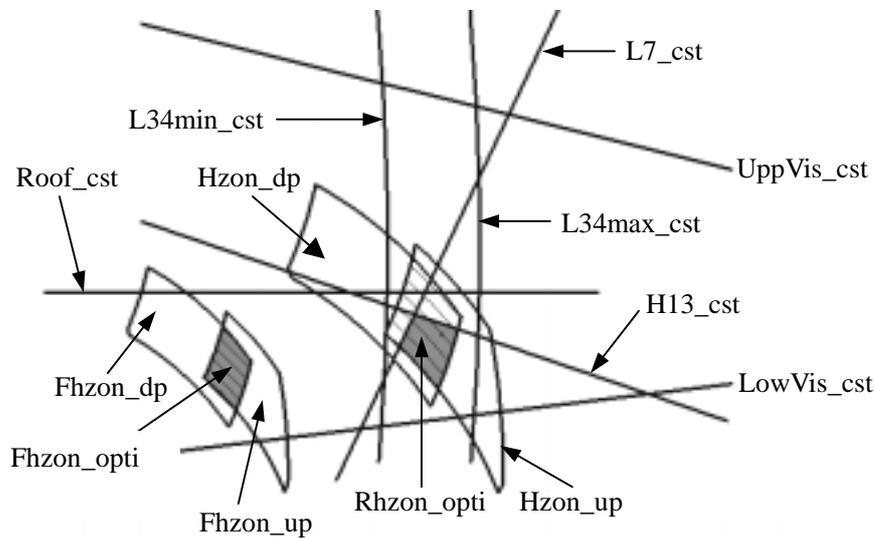


图 3-28 利用全关节变化时 H 点区域法求解 H 点优化域

- |                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| UppVis_cst: 上视野约束线             | LowVis_cst: 下视野约束线      |
| L34min_cst: 腿部最小操纵空间约束线        | L34max_cst: 腿部最大操纵空间约束线 |
| L7_cst: 硬点 L7 的约束线             | H13_cst: 硬点 H13 约束线     |
| Roof_cst: 顶盖高度约束线              |                         |
| Hzon_up: 踏板自由状态最后 H 点舒适性约束域    |                         |
| Hzon_dp: 踏板踏下后最后 H 点舒适性约束域     |                         |
| Rhzon_opti: 满足踏板行程要求的最后 H 点舒适域 |                         |
| Fhzon_up: 踏板自由状态最前 H 点舒适性约束域   |                         |
| Fhzon_dp: 踏板踏下后最前 H 点舒适性约束域    |                         |
| Fhzon_opti: 满足踏板行程的最前 H 点舒适域   |                         |

如图 3-28 所示，在综合利用全关节角度变化时舒适性对 H 点的约束、方向盘对 H 点的约束、视野对 H 点的约束、腿部操纵空间对 H 点的约束、顶盖对 H 点的约束后便可以

得到上述所有这些关于 H 点的约束域，所有这些约束域的交集 Rhzon\_opti 为满足最终最后 H 点优化域，即在该区域内任意选择一点作为最后 H 点定位人体模型后，它符合上述所有这些约束条件。

在求解最前 H 点区域时，只需要单独运用第 5 百分位人体模型全关节角度变化时舒适性对 H 点的约束得到第 5 百分位人体模型在踏板踏下前后的 H 点区域即可。根据眼椭圆的含义，在第 95 百分位的眼椭圆中包含了第 5 百分位人体模型的视野性，因此在最前 H 点时的视野性可以用第 95 百分位眼椭圆来约束。由于第 5 百分位人体模型身材比较小，因此利用最后 H 点顶盖高度约束线可以作为顶盖高度对于最前 H 点的约束。由于第 5 百分位的人体模型的小腿长度要小于第 95 百分位人体模型的小腿长度，因此利用最后 H 点方向盘到大腿距离约束线可以最为最前 H 点的约束线。综合以上因素，对于最前 H 点的视野、顶盖高度、方向盘等约束均可以利用最后 H 点的这些约束。

这样在得到最后 H 点和最前 H 点优化域后，便可以用来选择最后、最前 H 点及座椅行程。具体应用实例见第四章。

## 2. $a_4 = 87^\circ$ 条件下的 H 点功能区域法

如图 3-29 所示，在综合利用  $a_4 = 87^\circ$  条件下舒适性对 H 点的约束、方向盘对 H 点的约束、视野对 H 点的约束、腿部操纵空间对 H 点的约束、顶盖对 H 点的约束后便可以得到上述所有这些对于 H 点的约束域，所有这些约束域的交集 Rhzon\_opti 为满足最终最后 H 点优化域，即在该区域内任意选择一点作为最后 H 点以  $a_4 = 87^\circ$  为条件定位人体模型后，它符合上述所有这些约束条件。在最后 H 点最终优化域 Rhzon\_opti 中选择一点作为最后 H 点在  $a_4 = 87^\circ$  条件下定位人体模型时，不同的 H 点所对应的踵点是不同的，但它们都在公共舒适踵点范围内。

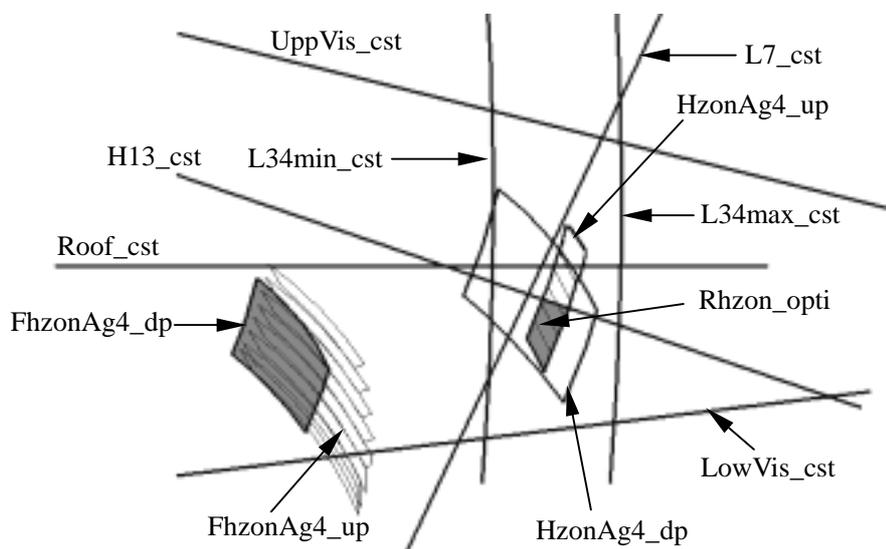


图 3-29 利用  $a_4 = 87^\circ$  条件下的 H 点区域法求解 H 点优化域

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| UppVis_cst: 上视野约束线                                 | LowVis_cst: 下视野约束线      |
| L34min_cst: 腿部最小操纵空间约束线                            | L34max_cst: 腿部最大操纵空间约束线 |
| L7_cst: 硬点 L7 的约束线                                 | H13_cst: 硬点 H13 约束线     |
| Roof_cst: 顶盖高度约束线                                  |                         |
| HzonAg4_up: $a_4 = 87^\circ$ 条件下踏板自由状态最后 H 点舒适性约束域 |                         |
| HzonAg4_dp: $a_4 = 87^\circ$ 条件下踏板踏下后最后 H 点舒适性约束域  |                         |
| Rhzon_opti: 满足踏板行程要求的最后 H 点舒适域                     |                         |
| FhzonAg4_up: 踏板自由状态最前 H 点舒适性约束域                    |                         |
| FhzonAg4_dp: 踏板踏下后最前 H 点舒适性约束域                     |                         |
| Fhzon_opti: 满足踏板行程的最前 H 点舒适域                       |                         |

在求解最前 H 点（第 5 百分位）优化域时，在加速踏板自由状态下的 H 点舒适域并没有采用  $a_4 = 87^\circ$  这一条件。此时在踵点对应于某一点时的 H 域为全关节角度变化时的 H 域，对应于某一个  $a_9$  下的 H 点为一条曲线。当踵点在某一范围内变化，对应于某一个  $a_9$  下的 H 点舒适范围为一个区域，如图 3-29 *FhzonAg4\_up* 所示。其中的一系列四边形便为对应于某一  $a_9$  踵点在舒适踵点范围内变化时的 H 点区域。在踏板踏下后，对应于某一个踵点可以得到一个舒适 H 点区域，当踵点在舒适踵点范围内取不同的点时可以得到一系列不同的 H 点舒适区域，所有这些区域的交集就为满足踏板行程舒适性要求，并且在该区域内任意选择一点作为 H 点，对应于舒适踵点范围内的任意一点均舒适 H 点舒适区域。

### § 3.2.4 H 点的选择

在利用以上方法确定了 H 点的最终优化域以后，便应该选择合适的最后、最前 H 点作为设计 H 点。

在选择设计 H 点时应参考座椅的坐垫倾角来选择。驾驶员以正常驾驶姿势坐在座椅上时，设大腿与水平线之间的夹角为  $a_9$ ，坐垫倾角为  $\gamma$ 。为保证驾驶员合适的臀部体压分布， $a_9$  与  $\gamma$  相差不应太大。当  $a_9 \gg \gamma$  时，臀部的体压分布过大，会导致驾驶员感到不舒适；当  $a_9 \ll \gamma$  时，下部压力过大，同样会导致驾驶员感到不舒适。根据对一些轿车的硬点数据统计表明：当驾驶员踏动 80% 油门踏板时， $a_9$  一般减小  $3.2^\circ$ ；当驾驶员踏动 100% 油门踏板时， $a_9$  一般减小  $5^\circ$ 。根据对驾驶员实际驾驶情况的调查分析表明：驾驶员在高速公路上行使时，通常要长时间保持踏动 80% 油门踏板的驾驶姿势不变，此时较为疲劳。在其它情况下，驾驶员需要不断增加或减小油门开度，在踏动踏板过程中，可以相对的缓解驾驶员的疲劳程度。因此保证驾驶员在踏动 80% 加速踏板时的舒适性比较重要。设驾驶员在踏下 100% 加速踏板后的大腿与水平线间的夹角为  $a_9'$ ，则  $a_9 - a_9' = 5^\circ$ ，为保证驾驶员在加速踏板自由状态和踏下 80% 后的舒适性，可取  $a_9 = \gamma + 3^\circ$ 。所以可以选择  $a_9 = \gamma + 3^\circ$  的点作为最后 H 点。

### § 3.2.5 SAE 适意线与 H 点区域法比较

以上讲述了利用 SAE 适意线和 H 点区域法确定 H 点位置的方法。其中 SAE 适意线用于全新开发设计一种车型，即由内向外的布置方法。H 点区域法适合于基于某种平台的改型设计，即由外向内的布置方法。它们在设计上各有优缺点。

#### 1. SAE 适意线

SAE 适意线是根据同类车型的实际 H 点在车身中的位置统计得出一组不同百分位人体模型的 H 点位置线。具有以下一些特点：

- 1) 该组曲线是在  $a_4 = 87^\circ$  条件下统计得出的，从统计意义上考虑了踏板行程对于 H 点位置的影响。
- 2) 该方法仅仅考虑了驾驶员的坐姿舒适性统计得来的，没有考虑驾驶员周围环境对

于 H 点的影响。适合于由内向外的布置方法, 在布置其它附件时考虑 H 点位置对于它们的影响。

- 3) 这一组曲线是根据 SAE 推荐人体模型尺寸统计得来的, 不能单独面向某一个国家和地区的人群使用。
- 4) SAE 适意线考虑了踏平面角与 H 点高度之间的统计关系, 踵点仅仅有一个。
- 5) 由 SAE 适意线得到的对应与某一 H30 下的 H 点仅仅有一个点, 而在实际上在一定的 H30 下满足舒适性的 H 点应该是一条线。因此 SAE 适意线限制了设计的灵活性。

## 2. 全关节角度变化时 H 点区域法

该方法根据驾驶员的舒适性得到一个区域, 并且考虑了驾驶员周围环境对于 H 点位置的影响。这种方法适合于由外向内的设计过程。

- 1) 该方法考虑的踵点仅仅是一个点, 没有考虑 H 点高度与踏平面角之间的间接关系。
- 2) 该方法综合考虑驾驶员周围环境对于 H 点位置的影响, 可以快速、准确的确定出满足设计要求的 H 点范围, 并且得到的 H 点范围是一个区域。从理论上讲所有满足设计要求的点均在该区域内, 从而可以提高设计的效率及灵活性。
- 3) 该方法从严格的数学意义上考虑了踏板行程对于 H 点位置的影响, 并且在选择 H 点时可以考虑坐垫倾角对于 H 点位置的影响。
- 4) 该方法可以针对不同国家或地区的人体模型而应用, 求得适合于它们的 H 点区域, 实现了参数化。

## 3. $\alpha = 87^\circ$ 条件下 H 点区域法

$\alpha = 87^\circ$  条件下 H 点区域法是在总结 SAE 适意线方法和全关节变化时 H 点舒适域方法的优点的基础上, 结合企业实际设计过程而提出的一种设计方法。

- 1) 利用该方法得到的驾驶员踵点不在是一个点, 而是一个区域, 符合驾驶员的实际情况。即不同的驾驶员在正常驾驶时所选择的踵点可以是不同的。
- 2) 该方法从统计和理论两个角度考虑了踏板行程对于驾驶员 H 点位置的影响。
- 3) 该方法考虑了驾驶员周围环境对于驾驶员 H 点位置的影响, 得到一 H 点舒适区域, 提高了设计效率和设计的灵活性。
- 4) 该方法同样可以针对不同国家或地区的人体模型而应用, 求得适合于它们的 H 点区域。

## § 3.3 本章小结

本章总结了 SAE 适意线方法求作 H 点的过程及其优缺点, 分析了驾驶室周围环境对于驾驶员 H 点位置的影响, 提出了考虑驾驶员舒适性、方向盘、视野、顶盖、腿部操纵空间等与 H 点位置有关的影响因素的两种 H 点区域法。利用这两种方法可以快速、准确地确定出符合设计要求的 H 点区域。较传统的设计方法大大提高了设计的准确性和设计效率。

## 第四章 系统应用实例

汽车车身总布置是在汽车总布置给出一定的初始条件下进行的。比如汽车总布置给出前悬、后悬、轴距、前围板、车轮位置等信息，在此基础上进行车身总布置。

确定 H 点在车身中的位置是车身总布置的基础，其它很多一些附件及结构设计都是以 H 点为基础而设计的。利用该系统可以快速、准确地确定出满足设计者要求的 H 点位置。在确定了 H 点的位置后，可以利用本系统中的布置工具模块进行附件布置及校核。这些布置工具都是遵循 GB 或 SAE 标准或法规而设计的，因此利用该系统设计的车身布置方案是严格遵守相关标准或法规要求的。

### § 6.1 确定最后、最前 H 点

在该系统中建立了 SAE 适意线、全关节角度变化时的 H 点域法、 $a_4 = 87^\circ$  条件下的 H 点区域法三种确定 H 点的方法。这三种方法各有其适用范围及优缺点，下面就具体应用这三种来确定 H 点位置。

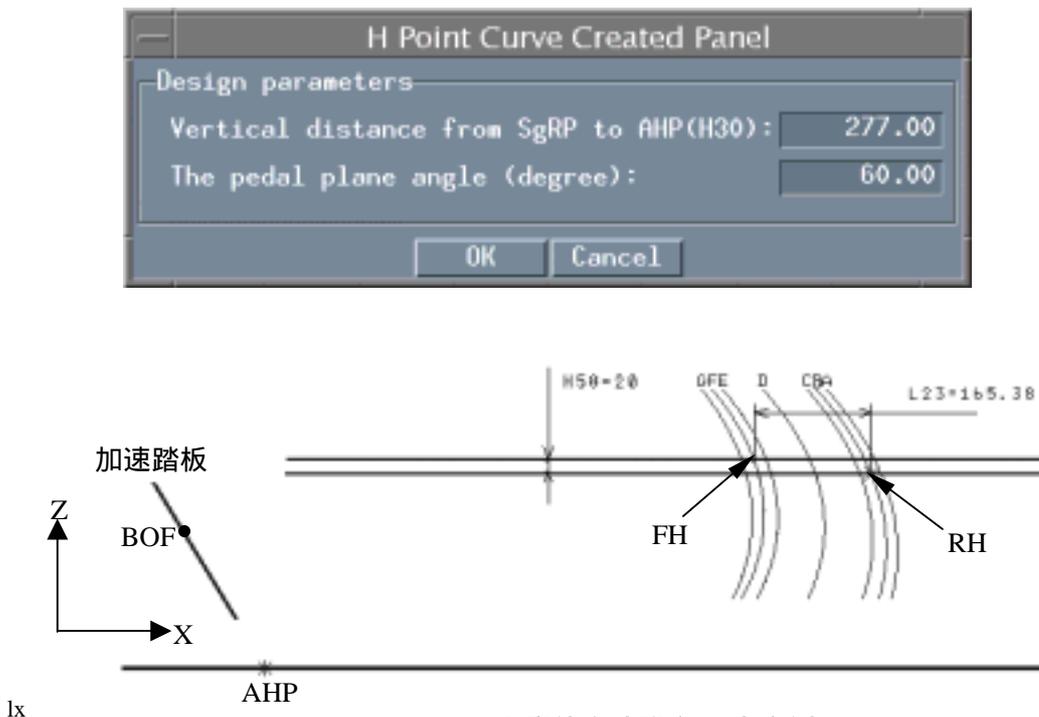


图 4-1 SAE 适意线方法确定 H 点实例

### § 6.1.1 SAE 推荐驾驶员 H 点适意线方法

如图 4-1 所示, 在使用 SAE 适意线法确定 H 点时, 需要已知加速踏板装置角, 同时设计者需要根据自己的设计经验以及相同车型的硬点数据选择适合所设计车型的 H 点高度  $H_{30}$  和座椅垂直调节行程  $H_{58}$ 。

在使用时系统要求使用者选择所应用的人体模型百分位及适应级, 然后输入加速踏板装置角及 H 点高度及座椅垂直调节行程, 同时选择踏板与地板的交点作为预选的踵点 (AHP)。图中踏板装置角取为  $60^\circ$ , 踵点坐标为  $[494.5, -69]$ , 最后 H 点高度  $H_{30}=277\text{mm}$ , 座椅垂直调节行程  $H_{58}=20\text{mm}$ 。在已知这些设计信息后, 系统将根据拇趾参考点的求解过程求得实际的拇趾参考点和踵点位置, 然后定位 SAE 适意线。最后求得对应于所选择百分位及适应级的最前、最后 H 点位置并求得座椅的调节行程。在该实例中, 求得的拇趾参考点的坐标为  $[389.95, 109]$ , 最后 H 点的坐标为  $[1347.64, 208]$ , 最前 H 点的坐标为  $[1182.26, 228]$ 。由此求得的座椅水平调节行程  $L_{23} = 165.38\text{mm}$ 。

在通过上述 SAE 方法求得最前、最后 H 点后, 便可以以 H 点为基础, 按照由内向外的布置方法进行车身总布置。

### § 6.1.2 全关节角度变化时的 H 点区域法

该种 H 点的确定方法主要适用于由内向外布置方法的设计过程或用来校核一种总布置方案的合理性。

#### 1. 驾驶员舒适性约束域

驾驶员舒适性约束域包括加速踏板自由状态和踏板被压下后两种状态的约束域。举例如图 4-2 所示, 系统要求的输入项目及该实例所给定的参数如下:

[输入]

- a) 踏板装置角  $60^\circ$
- b) 踏板行程 该实例中取对应 80% 油门开度的行程  $55\text{mm}$
- c) 踵点  $(495.36, -74)$
- d) 踏板旋转中心  $(297.7, 483.3)$

**[输出]**

- a) 对应于踏板自由状态时的 H 点舒适域 Hzon\_up
- b) 对应于踏板踏下状态时的 H 点舒适域 Hzon\_dp
- c) 满足踏板行程要求的 H 点舒适区域 Hzon\_opti
- d) 对应于踏板自由状态时不同  $a_9$  下的 H 点舒适曲线

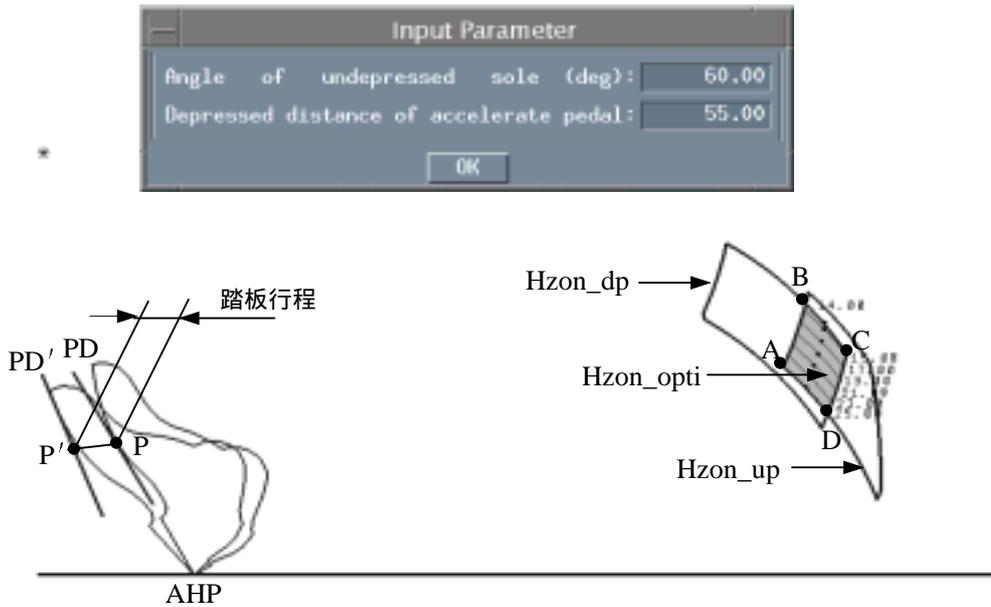


图 4-2 驾驶员坐姿舒适性约束域求作实例

**[求解结果分析]**

如图 4-2 所示，最后求得的 H 点舒适区域为 Hzon\_opti（图中阴影部分）。在该区域中做出了一系列不同  $a_9$  下的 H 点舒适曲线以供选择 H 点参考。为了分析最终求得的 H 点舒适区域 Hzon\_opti 在车身坐标系中的位置，取 Hzon\_opti 的四个顶点 A、B、C、D，求得它们的坐标如下：A: (1264.57, 200.81)，B: (1293.96, 284.07)，C: (1347.59, 217.90)，D: (1322.98, 138.52)。

根据以上数据我们可以求得由 Hzon\_opti 所确定的 H 点到踵点 AHP 的水平距离 H53 的范围为 [769.21, 852.23]，H 点到踵点 AHP 的垂直距离 H30 的范围为 [212.52, 358.07]。根据统计，实际中以 SAE 人体模型布置的轿车的硬点 H58 和 H30 均在上述范围内。

为了对求解结果进行分析，在每条  $a_9$  曲线上取最高点、中间点和最低点作为 H 点来定位人体模型以分析坐姿舒适性。具体数据见表 4-1。由表中所列出

的关节角度可以看出：在 H 点舒适区域 Hzon\_opti 中的所有点在踏板自由和踏下踏板两种状态都是舒适的。Hzon\_opti 域边界曲线 AB 上的所有点 3 对应于踏板自由状态且  $a4 = a4_{\min} = 71.5^\circ$  的 H 点；曲线 BC 上的点对应于 80% 油门开度

表 4-1 舒适区域内不同 H 点所对应的人体模型关节角度列表

角度		a9 (deg)		a3 (deg)		a4 (deg)		a8 (deg)	
		状态 A	状态 B	状态 A	状态 B	状态 A	状态 B	状态 A	状态 B
25°	点 1	25.00	22.46	117.19	123.85	82.19	98.50	60	47.8
	点 2	25.00	22.89	111.84	117.86	76.84	92.96		
	点 3	25.00	23.29	106.50	111.97	71.50	87.46		
23°	点 1	23.00	20.40	119.08	125.91	82.08	98.50		
	点 2	23.00	20.86	113.79	119.93	76.79	92.99		
	点 3	23.00	21.26	108.50	114.06	71.50	87.52		
21°	点 1	21.00	18.35	120.97	127.96	81.97	98.50		
	点 2	21.00	18.82	115.74	122.00	76.74	93.02		
	点 3	21.00	19.24	110.50	116.15	71.50	87.59		
19°	点 1	19.00	16.29	122.86	130.02	81.86	98.50		
	点 2	19.00	16.78	117.68	124.07	76.68	93.05		
	点 3	19.00	17.21	112.50	118.25	71.50	87.66		
17°	点 1	17.00	14.22	124.74	132.09	81.74	98.50		
	点 2	17.00	14.72	119.62	126.16	76.62	93.08		
	点 3	17.00	15.17	114.50	120.36	71.50	87.73		
15°	点 1	15.00	12.14	126.62	134.17	81.62	98.50		
	点 2	15.00	12.67	121.56	128.24	76.56	93.11		
	点 3	15.00	13.13	116.50	122.47	71.50	87.80		
	点 1	14.86	12.00	126.74	134.31	81.60	98.50		
	点 2	14.35	12.00	122.24	128.98	76.59	93.18		
	点 3	13.89	12.00	117.61	123.65	71.50	87.85		

注：

- 1: 表中 A 状态是指踏板在自由位置时的状态，B 状态是指对应于 80% 油门开度时的踏板位置
- 2: 表中第一列表示对应于不同的  $a9$  的 H 点舒适曲线
- 3: 表中点 1 是指对应于不同的  $a9$  的 H 点舒适曲线最下 endpoint，点 2 是指中间点，点 3 是指最上点，参见图 4-2
- 4: 表中最后一大行中的点 1、点 2、点 3 是 H 点舒适区域最右边界曲线 BC，此时对应于踏板自由状态的  $a9$  是变化的，而对应于 80% 油门开度的踏板位置的  $a9$  是不变的

的加速踏板位置且  $a_9 = a_{9_{\min}} = 12^\circ$  的 H 点。由所有的点 1 可以看出曲线 CD 对应于 80% 油门开度下的踏板位置且  $a_4 = a_{4_{\max}} = 98.5^\circ$  的 H 点; AD 对应于踏板自由状态时  $a_9 = a_{9_{\max}} = 25^\circ$  的 H 点。因此 Hzon\_opti 域的边界分别对应于不同踏板状态时某一个关节角度取极限舒适角度的 H 点曲线, 由此可以看出所有满足踏板行程舒适性要求的 H 点均在区域 Hzon\_opti 中, 并且区域 Hzon\_opti 中的所有点对应的人体模型均舒适。

由表中的数据可以看出, 随着  $a_9$  取值的增大, 对应于该  $a_9$  的 H 点舒适曲线在车身坐标系中的位置越来越低; 随着  $a_4$  取值的增大, 对应于该  $a_4$  的 H 点舒适曲线在车身坐标系中的位置越来越低。

SAE 驾驶员适意线是在  $a_4 = 87^\circ$  (裸脚脚底面与水平面夹角) 条件下统计得到的, 在第三章中讲到取  $a_4 = 87^\circ$  有一定的实际意义: 它可以在  $a_4$  的舒适范围内尽可能地满足加速踏板行程对于舒适性的要求。由表中状态 A 的  $a_4$  (对应于穿鞋的踝关节角) 的统计范围和图 4-2 中 H 点曲线 CD 可知: 对应于踏板行程 55mm 的舒适 H 点区域内, 踏板自由状态时对应于穿鞋的  $a_4$  角的最大值在  $82^\circ$  左右, 此时对应于裸脚的  $a_4$  为  $88.5^\circ$  左右。此时的踏板行程为 55mm, 是通常轿车设计全负荷踏板行程的 80% 左右。因此取裸脚踝关节角  $a_4 = 87^\circ (< 88^\circ)$  更可以满足 80% 油门踏板行程对于舒适性的要求。

## 2. 方向盘位置对 H 点约束

求解方向盘位置对于 H 点的约束时, 考虑的是方向盘最下边缘点到驾驶员大腿的距离和到驾驶员躯干的距离。系统要求的输入项目及该实例所选择的参数如下:

### [输入]

- a) 方向盘直径 W9=380mm
- b) 方向盘倾角 H18=22deg
- c) 坐垫倾角  $19^\circ$
- d) 座椅靠背角 L40=25 $^\circ$
- e) 方向盘最下点到驾驶员大腿的最小距离 H13=60mm
- f) 方向盘最下点到驾驶员躯干的最小距离 L7=350mm

g) 方向盘中心点的坐标 (917.75, 567.00)

[输出](见图 4-3)

a) H13 控制线 H13\_cst

b) L7 控制线 L7\_cst

[求解结果分析]

H13 控制线 H13\_cst 下方的区域及 L7 控制线 L7\_cst 右侧的区域的交集域为由座椅位置约束的 H 点可选区域。其中直线 H13\_cst 和 L7\_cst 交点的坐标为 (1250.5, 233.40), 再根据踵点的坐标(495.36, -74)可以得知由方向盘约束的 H 点区域内 H 点到踵点的最大垂直距离  $H30_{max}=307.4\text{mm}$ 。由图中我们可以看出方向盘位置对 H 点的约束影响比较大。

### 3. 前视野对于 H 点的约束

利用眼椭圆视切比的定义可以求得包含 95% 人群的视野性。在该程序中是利用它来求驾驶员的上下视角。具体执行过程如下:

[输入]

a) 设计所要求的驾驶员的最小上视角  $H124 = 14^\circ$

b) 设计所要求的驾驶员的最小上视角  $7^\circ$

c) 前悬长度  $L104 = 904\text{mm}$

d) 前轮中心到地面的高度  $317.5^\circ$

e) 座椅靠背角  $L40 = 25^\circ$

f) 座椅水平行程  $L23 = 227\text{mm}$

[输出](见图 4-3)

a) 上视野约束线  $UppVis\_cst$

b) 下视野约束线  $LowVis\_cst$

[求解结果分析]

图中上视野约束线  $UppVis\_cst$  与下视野约束线  $LowVis\_cst$  之间的区域为求得的 H 点视野约束区域。在求解上下视野对于 H 点的约束时, 是利用最后 H 点(对应于第 95% 人体模型)求作的。根据眼椭圆视切比的定义, 由此确定眼椭圆满足 95% 人群的视野性。因此最后 H 点的上下视野约束对于 H 点的约束区域也可应用于最前 H 点(对应于第 5% 人体模型)。由图中可以看出, 对于 12

米远、5 米高的红灯的上视角所确定的约束域的范围比较大，因此一般的 H 点位置均可以满足上视角的要求，而下视角对于 H 点区域的约束影响比较大。

#### 4. 顶盖高度对于 H 点的约束域

轿车车身总布置的目标之一是在尽量低的整车高度下获得较大的车内空间。因此尽量降低 H 点在车身中的高度和控制驾驶员、乘员头部空间是实现该目标的有效方法。利用该模块可以在已知顶盖高度的条件下，求得满足头部空间的 H 点区域。

##### [输入]

- a) 设计整车高度  $H_{101} = 1487.00mm$
- b) 前轮中心到地面的距离  $317.5mm$
- c) 车顶最高点到驾驶员头部空间位置的车顶厚度  $35.00mm$
- d) 有效头部空间  $H_{61} = 1000.00mm$

##### [输出] (见图 4-3)

顶盖高度对 H 点区域约束线  $Roof\_cst$

##### [求解结果分析]

在保证一定的头部空间的条件下，H 点的可选高度与顶盖高度有关。当整车较高时，H 点的可选高度较大；当整车较低时，H 点的可选高度较小。

#### 5. 腿部操纵空间对 H 点约束域

保证驾驶员一定的腿部操纵空间可以确保驾驶员在操纵踏板时的安全性及舒适性。

##### [输入]

- a) 踵点坐标  $(495.36, -74)$
- b)  $L_{34}$  的最小控制值  $1000mm$
- c)  $L_{34}$  的最大控制值  $1100mm$

##### [输出] (见图 4-3)

- a) 最小  $L_{34}$  约束线  $L_{34} \min\_cst$
- b) 最大  $L_{34}$  约束线  $L_{34} \max\_cst$

##### [求解结果分析]

当 H 点高度确定后，驾驶员的坐姿变化比较小，相应的 H 点到踝关节点距离变化也就比较小。因此对于不同的车型，L34 的控制范围基本上处于 [1000,1100] 之间。

## 6. H 点优化及 H 点选择

在利用上述功能求得各自 H 点约束域后，便可以求得最后的 H 点优化域。图 4-3 中为 H 点优化区域求解实例。图中所有 H 点约束域的交集域  $H_{zon\_opti}$  便为求得的最最终 H 点优化域。对于最前 H 点约束域，一般只需求得坐姿舒适性的约束优化域  $Fh_{zon\_opti}$  即可。

在确定了 H 点优化域的条件下选择 H 点时要选取 H30 并考虑坐垫倾角对于坐姿舒适性的要求。设所选择的座椅的坐垫倾角为  $17^\circ$ ，为满足加速踏板在踏动过程中的舒适性选择最后 H 点对应的人体模型大腿与水平线的夹角为  $19^\circ$ ，因此需要在 H 点优化域  $H_{zon\_opti}$  中  $a_9 = 19^\circ$  H 线上选择 H 点。为保证驾驶员有较大的头部空间并考虑到 5% 驾驶员座椅升程的要求，选择的 H 点尽量位于优化域  $H_{zon\_opti}$  的下方。结合以上几点，该实例中选择的 H 点坐标为 (1336.90, 187.80)，最前 H 点坐标为 (1086.56, 201.80)， $L_{23} = 250.34\text{mm}$ ， $L_{58} = 14\text{mm}$ 。求得的关节角度如表 4-2 所示。

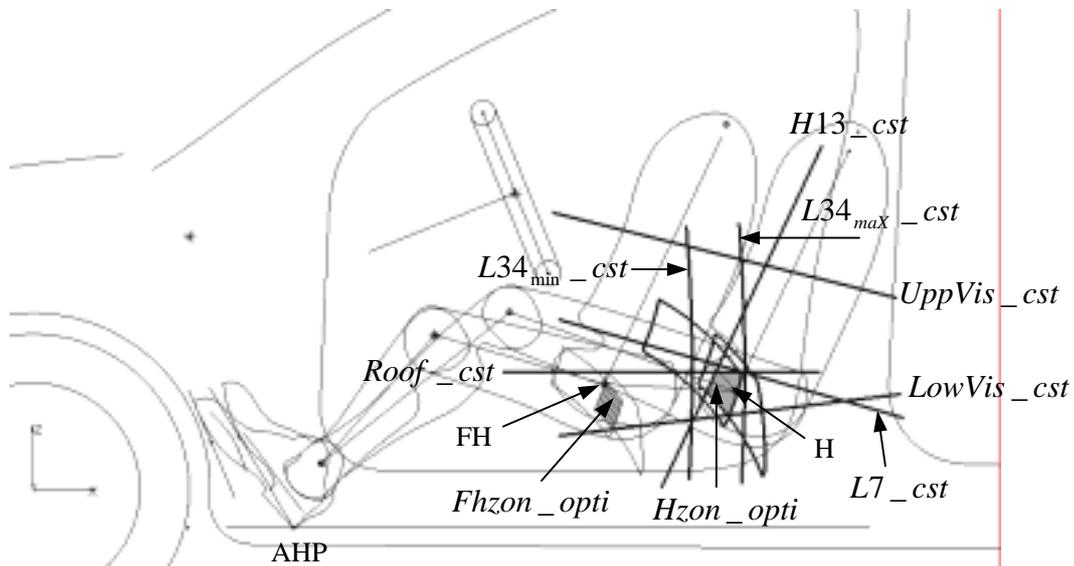


图 4-3 全关节变化时 H 点区域法求解 H 点优化域实例图

UppVis\_cst: 上视野约束线

LowVis\_cst: 下视野约束线

L34min\_cst: 腿部最小操纵空间约束线

L34max\_cst: 腿部最大操纵空间约束线

L7\_cst: 硬点 L7 的约束线

H13\_cst: 硬点 H13 约束线

Roof\_cst: 顶盖高度约束线

Rh\_zon\_opti: 满足踏板行程要求的最后 H 点舒适域

Fh\_zon\_opti: 满足踏板行程的最前 H 点舒适域

表 4-2 全关节角度变化时的 H 域法确定的设计 H 点的相关数据

角度		$a_8$	$a_4$	$a_3$	$a_9$
最后 H 点	踏板自由状态	60.00	81.27	122.17	19.00
	踏板踏下状态	47.00	97.87	129.23	16.44
最前 H 点	踏板自由状态	60.00	71.50	115.50	16.00
	踏板踏下状态	47.80	89.31	123.62	13.49

### § 6.1.3 $a_4 = 87^\circ$ 条件下的 H 点区域法

#### 1. 舒适性约束

利用该方法求得最后 H 域中踏板自由状态下的 H 域是在  $a_4 = 87^\circ$  条件下求得的，其它的舒适 H 域则是在  $a_4$  的舒适范围内求得的。如图 4-3 所示，系统要求的输入项目及该实例所给定的参数如下：

#### [输入]

- a) 加速踏板线
- b) 地板线
- c) 加速踏板旋转中心 (297.7, 483.3)
- d) 加速踏板行程 45mm

#### [输出]

- a) 对应于踏板自由状态时的 H 点舒适域 Hzon\_up
- b) 对应于踏板踏下状态时的 H 点舒适域 Hzon\_dp
- c) 满足踏板行程要求的 H 点舒适区域 Hzon\_opti
- d) 对应于踏板自由状态时不同  $a_9$  下的 H 点舒适曲线

#### [求解结果分析]

由于该方法是在  $a_4 = 87^\circ$  条件下求得的，因此此时求得的 H 域较全关节角度变化时求得的 H 域要小。对于该区域内 H 点对应的人体模型的关节角度在此不再具体列表，其结果是该区域的不同 H 点对应的人体模型  $a_4 = 87^\circ$  时求得的其它关节角度在它们的舒适范围内，并且对应的踵点是在舒适踵点范围内的。

## 2. 其它 H 点约束域

关于方向盘、视野、顶盖、腿部操纵空间对于 H 点的约束域与 6.1.2 相同，如图 4-4 所示。在此不在具体详述。

## 3. H 点优化及 H 点选择

在求作了以上所有约束域后，便可以求得它们的交集域即为最后 H 点优化域。如图 4-4 所示，最后 H 点的优化域为  $Hzon\_opti$ ，该区域的四个顶点的坐标分别为：最左点：(1302.08, 178.80)，最高点（最右点）：(1344.26, 225.34)，最低点：(1316.64, 148.99)。求得的舒适踵点的最前和最后点的坐标分别为：(497.39,-74) 和(515.77,-74)。由以上数据可以求得由最后优化域所决定的 H 点高

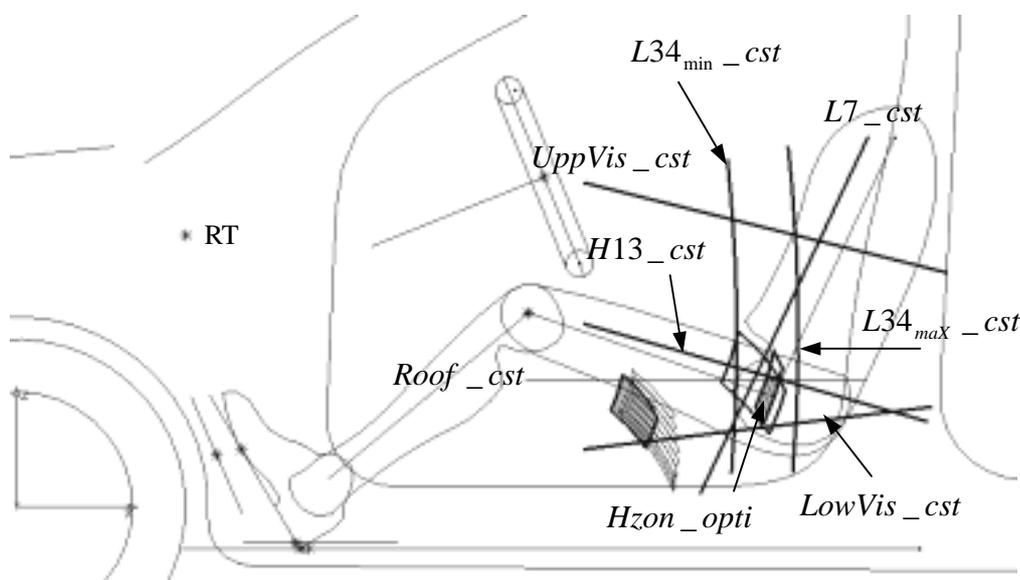


图 4-4  $a4 = 87^\circ$ 条件下 H 点区域法求解 H 点优化域实例图

UppVis\_cst: 上视野约束线

LowVis\_cst: 下视野约束线

L34min\_cst: 腿部最小操纵空间约束线

L34max\_cst: 腿部最大操纵空间约束线

L7\_cst: 硬点 L7 的约束线

H13\_cst: 硬点 H13 约束线

Roof\_cst: 顶盖高度约束线

Hzon\_opti: 满足踏板行程要求的最后 H 点舒适域

度 H30 的范围为[222.99, 299.34], H 点到踵点 AHP 的距离 H53 的范围为[786.23, 846.87]。具体的设计 H 点的选择同 6.1.2, 在本实例中选择的最后 H 点坐标为: (1333.18, 196.08); 最前 H 点坐标为: (1092.27, 210.27); 所对应的踵点坐标为: (500.23,-74)。由此计算所得的  $L23 = 240.91mm$ ,  $L58 = 14.19mm$  最后、最前

H 点对应的人体模型的关节角度如表 4-3 所示。

表 4-3  $a4 = 87^\circ$  条件下的 H 域法确定的设计 H 点的相关数据

角度		$a8$	$a4$	$a3$	$a9$
最后 H 点	踏板踏下状态	60.00	81.50	123.60	19.00
	踏板踏下状态	49.60	94.04	126.64	16.96
最前 H 点	踏板自由状态	60.00	81.50	125.50	16.00
	踏板踏下状态	49.60	90.30	126.60	13.30

## § 6.2 前风窗刮扫区域

利用本模块可以求得 SAE 和 GB 对于前风窗雨刮器刮扫面积、区域和刮净率的要求。本实例中是针对于 GB 的规定而求作的。

### 1. GB15085-94 规定的理论刮扫区域

[输入]

- a) SGRP 点 (1335,196)
- b) 风窗玻璃外表面

[输出]

- a) 视原点  $V_1$ 、 $V_2$
- b) 理论刮扫区域 A、B 的位置和面积，如图 4-5 和 4-7 所示

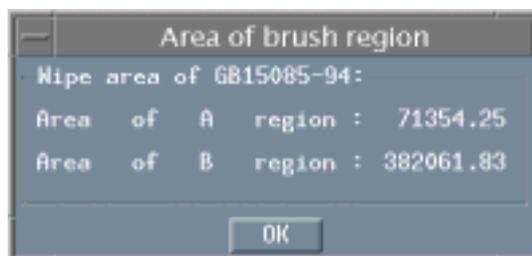


图 4-5 理论刮扫区域结果输出对话框

### 2. 实际刮净率计算

[输入]

- a) 风窗玻璃外表面
- b) 左右雨刮器旋转轴线
- c) 左右雨刮器刮片的起始位置、长度和行程

**[输出]**

实际刮扫区域和相对于 GB15085-94 理论刮扫区域的刮净率，如图 4-6 和 4-7 所。

Area of brush region			
GB15085-94:	Nipe area	Percent	Standard
A region : 71354.25	71354.25	100.00	98.00
B region : 382061.83	317370.67	83.07	80.00

OK

图 4-6 实际刮扫区域和刮净率输出对话框

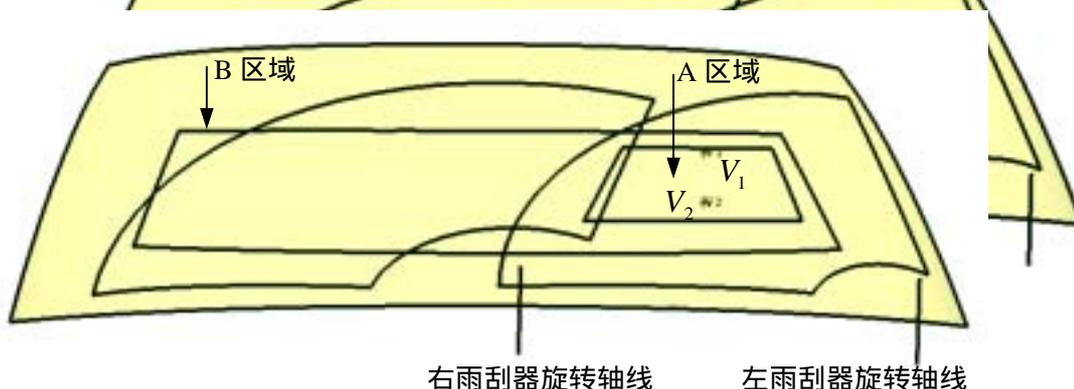


图 4-7 雨刮器理论刮扫区域和刮净率校核实例图

### § 6.3 安全带固定点

利用本模块可以迅速地确定出 GB 14167—93、SAE J383 中所规定的汽车三点式安全带固定点的位置区域，同时该模块也可用来校核汽车安全带固定点的位置是否符合以上标准中的规定。下面是用 SAE 标准求作的实例。

**[输入]**

- a) 座椅靠背角  $L40 = 25^\circ$
- c) SgRP 点 (1335,196)

- b) 座椅水平行程  $L_{23}=227\text{mm}$
- c) 下部固定点位置 地板平面

[输出] (如图 4-8 所示)

- a) 上部固定点区域  $S$  由  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  所围成
- b) 下部固定点区域  $M$  ( $M_L$  为左侧区域,  $M_R$  为右侧区域)

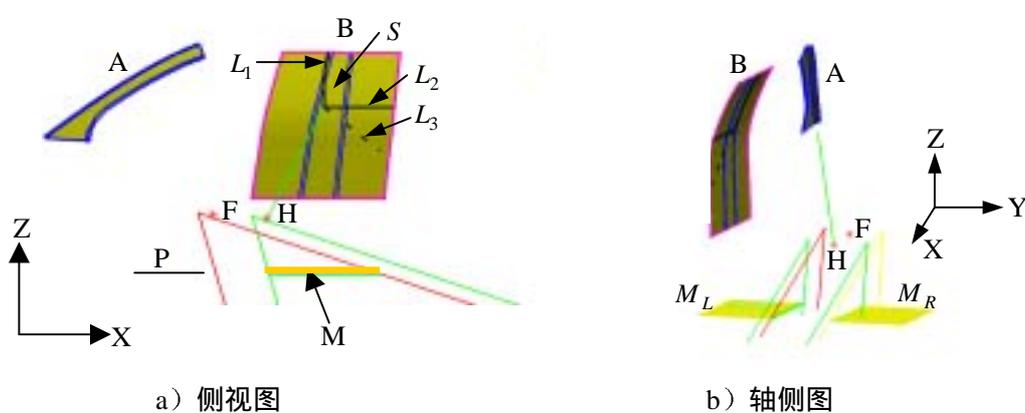


图 4-8 三点式安全带固定点位置

- |           |                          |
|-----------|--------------------------|
| A: A 立柱   | $M_R$ : 安全带下部右侧安装固定点区域   |
| B: B 立柱内板 | $M_L$ : 安全带下部左侧安装固定点区域   |
| H: 最后 H 点 | P: 地板参考平面                |
| F: 最前 H 点 | $M$ : $M_L$ 、 $M_R$ 所在平面 |

## § 6.4 本章小结

在本章中对于车身总布置系统中的某些工具和驾驶员位置优化模块作了实例,进行了测试。测试结构表明该系统理论基础正确,程序稳定可靠,操作简单、界面友好。

## 全文总结

汽车车身总布置设计是在考虑整车型式、车身与整车总布置的关系，然后根据各总成型式和整车性能（如空气动力学等）的基础上，确定车身内、外尺寸，驾驶员与乘员的操纵与乘坐空间，以及对车室内各种部件和附件的位置参数的确定，以满足相关的各项性能及法规要求，并协调各种性能指标之间的矛盾，实现总体优化的过程。其特征参数和硬点尺寸繁多，空间关系和制约因素复杂，实现方法和评价指标具有模糊性、多解性、经验性等特点。随着 CAD/CAM 技术的发展，汽车车身设计已脱离了手工设计的阶段。但目前应用的 CAD 软件是面向整个机械行业而开发的，为充分挖掘 CAD 软件的潜力，提高设计效率，对于现有的 CAD 软件适当进行二次开发以使其面向汽车车身设计是非常必要的。针对国内汽车行业 CATIA 广泛应用的基础，开发了一套基于 CATIA 车身总布置系统。

汽车车身总布置设计的核心理念是“以人中心”，达到人一机—环境系统的协调统一。“以人中心”主要体现在驾驶员的舒适性、视野性、操纵性、安全性等方面。H 点是汽车车身总布置的基础，它决定驾驶员在车身中的位置，也就决定了驾驶员的各种性能。车身中各种附件的位置对于驾驶员的各种性能有非常密切的关系，在满足驾驶员各种性能要求的前提下，它们对于驾驶员的位置有一定的约束关系。SAE 适意线方法确定驾驶员 H 点适用于由内向外法。基于某种现有车型作为平台的改型设计（即由外向内法），是在有关车身附件位置确定的前提下确定驾驶员 H 点的位置。本文在分析车身各种附件和驾驶员的某些性能对于 H 点在车身中位置的影响关系的基础上，反过来求得它们对于 H 点的约束域，从而提出了适合于由外向内布置设计过程的 H 点确定方法称为 H 点区域法。在 H 点区域法中考虑了由驾驶员的关节角度所决定坐姿舒适性、加速踏板行程所决定的坐姿舒适性、前风窗所决定的驾驶员视野性、方向盘所决定的驾驶员的安全性和操纵性、踝关节到膝关节的距离所决定的操纵性、顶盖高度所决定的乘坐空间等因素对于 H 点位置的约束域，最后求得上述所有约束域的交集便为满足以上所有约束的 H 点最终优化域。同时针对于设计单位实际设计过程的不同，又将 H 点区域法分为全关节角度变化时的 H 点区域法和  $\alpha = 87^\circ$  条件下的 H 点区域法。这两种方法的区别在于全关节角度变化时的 H

点区域法的踵点是确定的, 并且对于不同的 H 点所确定的人体模型的  $a_4$  是不同的。而对于  $a_4 = 87^\circ$  条件下的 H 点区域法所确定的驾驶员踵点是一个范围, 符合实际驾驶员使用情况。同时由该方法确定的不同 H 点对应的人体模型的  $a_4$  始终等于  $87^\circ$ 。

为了提高车身布置设计时的效率, 将 SAE、ISO、GB 中的某些设计工具(如眼椭圆、头廓线、手伸及界面等)和法规要求(如前风窗雨刮器刮扫面积、安全带固定点围子)集成在 CATIA 系统中作为标准工具供设计者调用, 以实现设计的自动化提高设计效率。

开发的基于 CATIA 的车身总布置系统有如下特点:

1. 与 CATIA 完全一致的标准 Motif 界面。
2. 充分利用了 CATIA 的资源和工具以提高计算速度和与 CATIA 的融合性。
3. 基于人机工程学原理和多元统计学方法, 满足 90% 驾驶员群体要求。
4. 遵循车身设计程序并紧密与底盘和造型紧密联系。
5. 容入专家的知识 and 经验。
6. 采用先进的算法, 程序灵活可靠。
7. 贯彻执行 GB (EEC)、SAE (FMVSS、ISO) 标准和法规。

本系统的建立使车身布置更富有灵活性、创造性, 提高了设计效率、设计品质, 节约经费。同时在本系统是在通用的 CAD 软件基础上, 严格遵循设计程序和标准规范, 开发专业化的应用软件, 使复杂的专业问题得以快速求解、优化、评估和决策。为了更加符合实际设计情况, 本系统还有待于进一步开发: 如有所针对的开发一些模块, 更新、丰富专家的设计经验等。

## 参 考 文 献

- [1] 陈炜、林忠钦. 汽车 CAD/CAM 技术应用, 汽车技术, 1999 年第三期
- [2] 董时中、李平. 二次开发是 CAD 取得实效的关键环节. 水利电力机械, 第六期, 1998 年 12 月
- [3] 汽车车身计算机辅助设计实用系统的研究开发和应用. 长春汽车研究所, 1988 年
- [4] 黄金陵、黄天泽, 《汽车车身结构与设计》, 机械工业出版社, 1992 年 10 月第一版
- [5] 温吾凡编著, 《汽车人体工程学》, 吉林科学技术出版社, 1991 年 8 月
- [6] JEAN-MARC JUDLC AND JOHN A. COOPER etc, More Objectives Tools for the Integration of Postural Comfort in Automotive Seat Design, SAE 930113
- [7] 裘真, 《基于知识的轿车车身内部布置 CAD 系统的开发与应用初探》, 吉林工业大学硕士学位论文, 1998 年 2 月
- [8] 周一鸣、毛恩荣编著, 《车辆人机工程学》, 北京理工大学出版社, 1999 年 12 月
- [9] 人体测量的术语、定义和方法, 中国国家标准总局
- [10] 《设计用人体外形模板》国家标准编制组, 《设计用人体外形模板》国家标准编制说明, 1993 年 7 月
- [11] 肖惠、滑东红, 人体尺寸(数据)开发利用研究—人体二维模板产品设计与开发, 中国标准化与信息分类编码研究所, 1993 年 7 月
- [12] SAE J941 JUN92, Motor Vehicle Drivers' Eye Locations – SAE Recommended Practice
- [13] Head contour
- [14] 李迪, 汽车内部布置微机 CAD 系统的开发及应用, 吉林工业大学硕士学位论文, 1996 年 1 月
- [15] SAE J287 JUN88, Driver Hand Control Reach - SAE Recommended Practice
- [16] 王仁广, 《车身内部布置的微机 CAD 研究》, 吉林工业大学硕士学位论文, 1998 年 2 月
- [17] GB11556—94. 汽车风窗玻璃除霜系统的性能要求及试验方法
- [18] GB11562. 汽车驾驶员前方视野要求及测量方法
- [19] GB15085—94. 汽车风窗玻璃刮水器、洗涤器的性能要求及试验方法
- [20] GB14167—93. 汽车安全带安装固定点
- [21] SAE J383. Motor vehicle seat belt anchorages. Design recommendations
- [22] SAE J384. Motor vehicle seat belt anchorages. Test procedure
- [23] SAE J385. Motor vehicle seat belt anchorages. Performance requirements
- [24] SAE J1100, Motor Vehicle Dimensions, Rev. June 1998
- [25] 谭浩强, 《C 程序设计》, 清华大学出版社, 1988

- [26] CATIA Object Manager, Interactive User Access Reference Manual, DASSAULT SYSTEMES
- [27] 龚礼洲.《基于知识的汽车车身总布置系统的研究和开发》，吉林工业大学博士论文，2000 年 5 月
- [28] 严杨. 人机工程学设计应用. 中国轻工业出版社. 1993.2
- [29] SAE J1517, Driver Selected seat position, SAE Recommended Practice
- [30] SAE J1516, Accommodation Tool Reference Point, SAE Recommended Practice
- [31] 嵇建波.《轿车驾驶员位置尺寸优化系统研究与开发》.2001.2
- [32] GB/T 15089-94 机动车辆分类.
- [33] Jean-Marc Judic. More Objectives Tools for the Integration of Postural Comfort in Automotive Seat Design
- [34] (美) 蒂利 (Tilly.A.R) . 人体工程学图解：设计中的人体因素 中国建筑工业出版社.1988
- [35] 黄叔培. 汽车工程.商务印书馆. 1953.1
- [36] (日) 小林明等编. 汽车工程手册. 机械工业出版社. 1984.4
- [37] Nancy L. Philippart. The Effects of the Steering Wheel to Pedal Relationship on Driver-Selected Seat Postion
- [38] 李炭,《汽车内部布置 CAD 方法的研究与应用》，吉林工业大学硕士论文，1997 年 2 月
- [39] 苏步青、刘鼎元. 计算几何. 上海：上海科学技术出版社. 1982 年
- [40] GB/T 11563-89. 汽车 H 点确定程序. 1989 年
- [41] 刘浩学、杨立本、何树坤. 汽车制动与加速踏板高度差的工效学研究. 人类工效学.1998 年 9 月
- [42] 钟诗清、候玉英、余席桂. 汽车制动踏板力—行程检查仪及其标定. 武汉汽车工业大学学报. 1998.4
- [43] 钟诗清、候玉英、余席桂. 汽车室内人体工程的布置设计. 武汉汽车工业大学学报. 1998.6
- [44] 郭竹亭主编,《汽车车身设计》，吉林科学技术出版社，1992 年 10 月，第一版
- [45] 蒋昉初、顾三民、邬惠乐等译,《轿车设计》，上海拖拉机汽车研究室，1977 年
- [46] Lizhou Gong, Jinling Huang, A Virtual Human-centered Design System for Auto-body Packaging, DHM2, Digital Human Model Conference
- [47] Nancy L. Philippart, Timothy J. etc. The Effects of the Steering Wheel to Pedal Relationship on Driver –Selected Seat Position, SAE 850311
- [48] CATIA.Graphics Interactive Interface(GII) Reference Manual, DASSAULT SYSTEMES
- [49] 王立刚、袁修干、杨春信, 人一机—环境系统设计中人的性能研究, 北京航空航天大学学报, 1997 年 10 月, 第 23 卷, 第 5 期

- [50] Dale Calkins, Learning All About Knowledge-Based Engineering, PD&D/SEP. 1996
- [51] 王仁广,《车身内部布置的微机 CAD 研究》, 吉林工业大学硕士论文, 1998 年 2 月
- [52] 裘真,《基于知识的轿车车身内部布置 CAD 系统的开发与应用初探》, 吉林工业大学硕士论文, 1998 年 2 月

## 摘 要

### 一、前言

汽车车身总布置是汽车概念设计阶段的一项相当重要的方案设计工作。在车身总布置过程中，需要确定的特征参数和控制硬点繁多，空间关系和约束条件复杂，实现方法和评价指标模糊，设计方案具有多解性、经验性和综合性的特点。随着计算机 CAD/CAM 技术和汽车设计技术的发展，迫切需要通过先进的 CAD 技术去解决繁琐的车身总布置过程。吉林工业大学车身系已面向不同的 CAD 软件开发了一系列车身总布置系统，现根据 CATIA 在国内汽车行业广泛应用的情况，开发了一套基于 CATIA 的车身总布置系统。

### 二、文章主要内容

#### 1. 车身布置工具

- 1.1. **眼椭圆**：眼椭圆表示了不同身材的驾驶员按照自己的意愿将座椅调整到适意位置、并以正常驾驶姿势入座后，他们眼睛位置在车身坐标系中的统计分布图形，其形状呈椭圆状。驾驶员眼椭圆的建立为研究汽车视野性能提供了科学的视野原点基准。眼椭圆表示的不是某一个人的视野性，而是某一个人群的视野性。
- 1.2. **头廓包络线**：平均头廓线是根据第 50 百分位身材的男女及乘员头部特征点统计尺寸绘制的表示乘坐状态下的头部外廓线。头廓包络线是指不同百分位身材的驾驶员和乘员在乘坐状态下，他们头廓线的包络线。利用头廓包络线可以确定出满足 95 或 99 百分位驾驶员、乘员头部空间的顶盖高度。
- 1.3. **手伸及界面**：手伸及界面是指驾驶员以正常姿势坐在座椅中、身系安全带、右脚支撑于加速踏板踵点上、一手握住方向盘时另一手所能伸及的最大空间曲面。驾驶室内的一切操作钮件、杆件、开关等的位置均应在驾驶员手伸及界面之内，这是汽车车身设计的一条重要原则。
- 1.4. **轿车前风窗刮扫面积及位置**：为了保证驾驶员在雨天行车的良好视野性，在轿车上都装有雨刮器。雨刮器不仅应有足够的刮扫能力，而且要有正确的刮扫区域。有些雨刮器尽管刮扫区域符合要求，但部位过于偏，对

于改善汽车的视野性仍然无益。为了充分发挥雨刮器的效能，在 SAE 和 GB 中对于雨刮器在前风窗上的刮扫面积和区域作了明确的规定。其中 SAE 是以驾驶员的眼椭圆为基准求作的雨刮器刮扫区域；而 GB 中是以驾驶员视原点为基准求作的。

**1.5. 安全带固定点的位置：**汽车上应用的安全带有肩带、腰带、三点式安全带和四点式安全带四种。它们具有各自的特点，其中三点式安全带在轿车上较为常用。安全带的受力方向与安全带对人员的保护作用有很大的关系，当安全带的受力方向不合理时，便起不到保护驾驶员、乘员的作用。SAE 和 GB 中对于安全带固定点的位置都作了明确的规定。

**1.6. 轿车车身硬点数据库：**轿车车身总布置中的硬点种类繁多，关系复杂，影响因素众多，评价指标模糊并且具有多解性。汽车车身硬点的确定在很大程度上是依靠设计人员的经验，因此同类车型的设计数据、经验对于开发、设计一种新的车性尤为重要。通过该系统开发的数据库可以查询到相同车型的某一个硬点的经验设计值和关于某一性能的有关硬点及其设计经验范围，提高设计效率。

## 2. 驾驶员位置优化系统

**2.1. 驾驶员 H 点适意线：**SAE 所推荐的驾驶员 H 点适意线是在统计了不同驾驶员在其适意驾驶位置时的 H 点而得出的一组不同百分位驾驶员的 H 点曲线。这组曲线是以拇趾参考点为基准点，对应于不同的 H 点高度对应于唯一的一个 H 点。在设计时设计者根据设计要求和设计经验选择一个 H 点高度 H30，然后根据 H 点高度 H30 计算踏平面角并且与踏板装置角相比较得到实际踏平面角，同时根据 H 点高度 H30 可以得到所要选择的 H 点，这样就确定了驾驶员的位置。

### 2.2. 全关节角度变化时的 H 点区域法

**2.2.1. 驾驶员坐姿舒适性约束：**驾驶员为了消除长期驾驶所带来的疲劳，身体的各个关节角度应保持在一定的舒适范围内。对于舒适关节角度的舒适范围，不同的国家和地区有不同的推荐值。在该系统中使用的是在国际上常用的面向轿车驾驶员的舒适关节角度。对于一定的踏板布置，在加速踏板自由状态下当  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  在其各自的舒适角度范围内变化时所对应的 H 点范围是一个区域。同样在踏板踏下后当  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  在其各自的舒适角度范围内变化时所对应的 H 点范围也是一个区域。以上

两个 H 点区域的交集就为满足加速踏板行程对于驾驶员舒适性要求的 H 点区域。即在该交集 H 域内的所有 H 点，均能够保证驾驶员在整个油门踏板行程中的舒适性，同时所有满足油门踏板行程对于舒适性要求的 H 点均在该交集域中。与 SAE 推荐 H 点适意线相比较，由该方法得到的 H 点在设计时更为灵活，更为符合实际驾驶情况。

- 2.2.2. **驾驶员视野约束：**在这里所讲的驾驶员视野约束指的是驾驶员的上下视角。根据眼椭圆及视切比的含义，有了一条视线后便可以确定出能够看见由该视线所确定的目标点的眼椭圆的区域。对于上视角可以确定出满足视野要求的眼椭圆区域，同样由下视角也可以确定出一眼椭圆区域。上述两区域的交集便为满足上下视角要求的眼椭圆区域。由眼椭圆相对于 H 点的定位公式反过来可以求得满足上下视角约束的 H 点区域。
- 2.2.3. **方向盘对于 H 点约束：**由于制动踏板相对于加速踏板的位置较高，驾驶员在正常行使过程中踏动制动踏板时，要将大腿抬起。为了保证驾驶员在此过程中的安全性，方向盘最低点到大腿间应保证有一定的距离 H7。在方向盘位置确定后，便可以根据大腿倾角确定出满足 H7 要求的大腿位置，也就可以确定出由 H7 所约束 H 点区域。同样可以根据方向盘最低点到驾驶员躯干的距离 L13 确定出 L13 对于 H 点的约束域。以上两个约束域的交集域便为满足方向盘约束的 H 点区域。
- 2.2.4. **顶盖对于 H 点约束：**在车身的改型设计中，对于顶盖一般不作具体的改动。在顶盖确定的情况下，为满足驾驶员的头部空间的要求便对于 H 点在车身中高度提出了具体的要求。在 SAE J1100 中定义了 H61 这一个硬点：通过 SgRP 点沿与竖直线成  $8^\circ$  的直线到顶盖的距离加上 102mm。在汽车顶盖高度已知的条件下便可以根据 H61 反过来求得 H 点的最高高度而得到顶盖高度对于 H 点位置的约束。
- 2.2.5. **腿部操纵空间的约束：**为了保证驾驶员大腿和小腿间的操纵空间，在 SAE J1100 中定义了硬点 L34（踝关节到 H 点的距离加上 254mm）。根据对同类车型的统计，一般轿车的 L34 取值范围在 [1000mm, 1100mm]。以踝关节为圆心，最大、最小 L34 为半径作两个圆弧。则这两个圆弧间的区域为满足驾驶员腿部操纵空间要求的 H 点区域。
- 2.2.6. **上肢舒适性约束：**同下肢的舒适性相似，驾驶员以正常驾驶姿势坐在座椅上时，上肢的各个关节夹角同样应该在舒适角度范围内。上肢舒适

性约束的求作与下肢的舒适性约束相似。在此不在具体详述。

2.2.7. **H 点最终优化域:** 在求的了以上所有约束的约束域后, 求解所有约束域的交集便可以求得满足以上所有约束的 H 点优化域。

### 2.3. $a_4 = 87^\circ$ 条件下的 H 点区域法

SAE 适意线是在踝关节角  $a_4 = 87^\circ$  条件下统计得出的, 该约束条件有一定的实际意义: 它可以保证驾驶员在  $a_4$  的舒适范围内尽量满足踏板行程对于舒适性的要求。该种求解 H 点的方法所确定的驾驶员的踵点是在考虑踏板行程基础上得到的一个踵点域, 这更为符合实际驾驶情况。在踏板自由状态下, 当人体样板的脚跟点位于舒适踵点范围内的不同点时, 得到的 H 点范围是一个域。在加速踏板踏下后, 对应于舒适踵点范围内不同的踵点可以得到不同的 H 域, 所有这些对应于不同踵点的 H 域的交集便为对应于踏板踏下状态满足舒适性要求的 H 点区域。以上对应于踏板自由状态和踏板踏下状态的 H 域的交集便为  $a_4 = 87^\circ$  条件下在整个踏板行程内满足坐姿舒适性要求的 H 点范围。

同全关节角度变化时的 H 点区域法一样, 可以利用视野、方向盘、操纵性、顶盖等约束求得它们各自的约束域。求解以上所有约束域的交集域便可以得到在  $a_4 = 87^\circ$  条件下满足以上所有约束条件的 H 点最终优化域。

## 三、 结论

基于 CATIA 建立的车身总布置系统将 SAE、GB 中的车身布置工具和法规集成在 CATIA 系统中大大提高车身设计效率, 使车身设计紧紧围绕各项法规、标准进行。用于确定驾驶员点的 H 点区域法更加符合驾驶员实际驾驶情况, 所得到的结果是一个域, 而不是 SAE 中的一个点。从而提高了车身设计的灵活性。总之, 基于 CATIA 的车身总布置系统可以充分发挥 CAD 产品的优势, 优化车身设计过程, 提高车身设计的质量和效率。

**[关键词]:** 人机工程学    CATIA    车身总布置

## ABSTRACT

### INTRODUCTION

Auto-body packaging is a very important scheme design task during the automobile conceptual design phase. There are so many feature parameters and control hard points to be determined in the process of auto-body packaging; while spatial relations and constraint conditions are complex, implementation methods and evaluation indices are fuzzy. It results in the design scheme being multi resolution, experiential and compromising. It is very necessary to finish auto-body packaging work with advanced CAD/CAM techniques. Jilin University of technology has finished Auto-body packaging system based on many kinds of CAD software. According to the broad application of CATIA in automobile industry, we decide to develop auto-body packaging system based on CATIA.

### MAIN CONTENT

#### 1. Auto-body packaging tools

- 1.1. Eyellipse:** The Eyellipse contours were developed by the statistical analysis of photogrammetric data of driver eye locations and represent a population mix, primarily of United States licensed drivers, with a male-to –female ratio of one-to-one. This recommended practice is based on an original study, involving drivers with a straight-ahead viewing task without head turning.
- 1.2. Head contour:** The head position contours were developed using data gathered from eye position studies and anthropometric data of the head. Mean top of head (including hair) and back of head (including hair) were determined relative to the eye from these studies and averaged. The mean front and side of head was determined relative to the eye from anthropometric data this information was used to develop a mean head profile in side and rear view referenced to the eye.
- 1.3. Hand reach envelop:** The description of driver hand control reach envelopes was developed using data acquired from test subjects performing reach tasks in test fixtures simulating a range of actual vehicle configurations. The test subjects included equal numbers of men and women selected to represent the driving population on the basis of stature and age, and were tested both with and without upper torso three-point restraint. This recommended practice describes boundaries of hand control locations that can be reached by

desired proportions of different driver populations in passenger cars.

**1.4. Passenger car windshield wiper system:** To get good visibility for driver in rain days, all passenger cars are equipped with windshield wiper system. Windshield wiper system has not only the wiper ability, but also the accurate wiper area. Some wiper has enough wiper area, but it is not good to improve driver's visibility because the wiper area is very deflective. There are standard wiper area in SAE and GB to make wiper system work effectively. The wiper area is defined by V-point in GB, and defined by eyellipse in SAE.

**1.5. Motor vehicle seat belt anchorages:** There four kind of seat belt apply in vehicle: shoulder belt, waist belt, three points belt and four points belt. They have their characters, and three points belt is applied in passenger car broadly. Seat belt is used to protect passenger and it has great influence with the force direction. When force direction is not reason logically it can not protect driver or passenger effectively. The seat belt anchorages were regulate in SAE and GB standard.

**1.6. Hard point library for passenger car:** There are so many feature parameters and control hard points to be determined in the process of auto-body packaging; while spatial relations and constraint conditions are complex, implementation methods and evaluation indices are fuzzy. Most of designers select hard point's value by their experience. So it is very helpful to collect congener vehicle's hardpoints.

## **2. Driver's optimized position system**

**2.1. Driver selected seat position:** A driver selected seat position tool has been developed to describe where certain percentages of drivers position horizontally adjustable seats in various workspace arrangements. The tool consists of series of equations that describe horizontal H-point locations as a function of vehicle H-point height (H30). The 2.5<sup>th</sup>, 5<sup>th</sup>, 10<sup>th</sup>, 50<sup>th</sup>, 90<sup>th</sup>, 95<sup>th</sup>, and 97.5 percentile H-point locations were determined for each package and plotted as a function of the package H-point (H30). A second-degree polynomial was fit to the data for each percentile level. Curved lines were fit to the data for each percentile level. With a suspended pedal, the manikin's ball of foot reference is less likely to change due to the amount of seat travel provided in a workspace. The heel point location, however, changes with the amount of available travel.

### **2.2. Comfort H-zone for all lower limbs' angle**

**2.2.1. Constraint of driver's seating comfort:** Driver's joint angle should

keep in a comfort scope to lease the fatigue because long time driving. There are different comfort angle scope between different area and country because the different ratio of body parts. In this system we use the popular used angle in international. For certain accelerate pedal packaging, the comfort H-point scope is a zone when angle of  $a_4$ 、 $a_3$ 、 $a_9$  changed in their comfort scope angle. For the same reason it is also a zone when accelerate pedal is depressed. The intersection zone of upper two zone is the zone agree with the require for comfort of accelerate pedal depressed distance. That's mean all the comfort H-point considering the accelerate pedal depressed distance are in this zone. Because the result is a zone but not a curve, it is very flexible for design and it accord with actual driving instance.

**2.2.2. Visibility constraint:** The visibility constraint refers to driver's upper and lower vision angle. According to the meaning of eyellipse tangent ratio, we can work out the eyellipse area from where we can see the target. For upper vision we can get an eyellipse zone, and we can get an eyellipse zone of lower vision similarly. The intersect zone of these two zone is the eyellipse zone which can meet the demands of vision ability. We can get the H-point zone from the eyellipse zone according to the eyellipse location equation.

**2.2.3. Steering Wheel constraint:** Because the position of brake pedal is higher than accelerate pedal, driver should enhance his thigh when he apply the brake pedal. We should control the minimum distance between steering wheel and driver to guarantee the driving safety. There are two hard points (H7, L13) defined by SAE J1100. H7 refers to the minimum distance between steering wheel and driver's thigh. L13 refers to the minimum distance between steering wheel and driver's torso. We can get the minimum H-point according H7 and L13.

**2.2.4. Vehicle roof constraint:** It is seldom to redesign the roof when remodel a passenger car. When the roof height is selected, we can get a H-point zone which can guarantee the minimum head clearance room. There is a hard point defined in SAE J1100 named H61 (The dimension measure along a line 8 degrees rear of vertical from the SgRP point to the headlining plus 102mm (4in) ).

**2.2.5. Operation constraint:** There is a hard point defined in SAE J1100 to guarantee the operation room of leg named L34 (The dimension measure along a line from pivot center to the SgRP-front plus 254mm)

**2.2.6. Upper limbs comfort constraint:** There is also a comfort H-zone the same as the lower limbs comfort constrain. We can get the comfort H-zone when the upper limbs angle in their comfort angel.

**2.2.7. The optimized H-zone:** We can get the optimized H-zone from upper constraint H-zone by calculating the intersection zone them.

### **2.3. The comfort H-zone on the condition of $a_4 = 87^\circ$**

Driver selected seat position curve is counted on the condition of  $a_4 = 87^\circ$ : it can meets the demand of accelerate pedal depressed distance in the comfort angle scope of  $a_4$ . In this way you can get driver's position accord with actual driving state. We can get a comfort H-zone when AHP locate at different point in its comfort scope at the state of undepressed state and can get a comfort H-zone when AHP locate at a point in its comfort scope at the state of depressed state, so we can get a series of comfort H-zone in different AHP at the state of depressed state. So we can get the optimized H-zone.

We can also get the comfort H-zone of steering wheel, vision ability, roof height and operation constraint the same as above paragraphs.

## **3. Conclusion**

The auto-body packaging system developed based on CATIA includes interrelated tools and rules of law, so it can enhance the design efficiency. The comfort H-zone method is more agree with the actual driving state, and its result is a zone but not a curve, so you can finish auto-body packaging work neatly. All in all, this system can make full use of the advance strongpoint of CAD to enhance the efficiency of auto-body layout work.

**[Key Words] Ergonomics CATIA Auto-body Packaging**