

汽车自动化人机柔性台架开发及应用流程方法研究

杨克璧，汪建安，任恒，张宝柱，蒋译慷

奇瑞汽车股份有限公司 芜湖 241000

摘要：在目前主机厂整车开发过程中，开发柔性台架成为了汽车人机工程开发过程中的常见手段。为了实现柔性台架的高度自动化功能，在开发柔性台架过程中需考虑多维度因素，并需严格遵循开发流程，同时在应用及评审过程中也应严格遵循操作流程以保证人机参数的准确性。系统阐述了整车人机柔性台架的设计依据、结构组成、搭建流程及标定方法，并梳理了柔性台架在开发及应用方面的整体流程与注意事项，实现了自动化柔性台架的高效精准应用，并介绍了一种前沿的柔性台架位置检查方法。

关键词：柔性台架；汽车人机工程；位置检查

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.07.011

在目前主机厂整车开发过程中，在设计前期使用人机台架（Seating Buck）进行整车人机尺寸及布置方案的评价已经成为了汽车人机工程开发过程中的常见手段^[1]。人机台架可以进行坐姿与乘坐空间、视野可视性、操作便利性、上下车便利性、行李舱装卸等方面的评审与设计方案检验。

吉林大学朱一男介绍了人机柔性台架的具体结构，但其中人机台架采用铝型材框架，且各调节机构均为手动调节，在应用上存在局限性^[2]；东风汽车集团有限公司张冬冬等人利用车门柔性台架进行车门扶手宽度、高度及倾角等研究；东风柳汽支希帆等人也搭建了手动的柔性台架进行人机工程的研究^[3]。

以上的各研究成果中，距离高度自动化的柔性台架仍有差距。为了实现自动化的柔性台架功能，在开发过程中需考虑多维度因素，并需严格遵循开发流程，同时在应用及评审过程中也应严格遵循操作流程以保证人机参数的准确性。本文系统阐述了整车人机柔性台架的设计依据、结构组成、搭建流程及标定方法，并梳理了柔性台架在开发及应用方面的整体流程与注意事项，实现了自动化柔性台架的高效精准应用，创新提出了柔性台架的位置检测方法。

人机柔性台架设计开发

目前整车开发均基于平台化及模块化的开发策

略^[4]，因此柔性台架在开发前应充分考虑应用范围、调节带宽、机构调节形式等因素。

柔性台架应用范围：7座及以下的乘用车（SUV/轿

车/跨界等等）和轻型货车。因此，设计三排座的人机柔性台架，且第三排座椅可灵活拆卸，灵活模拟5-7座车布局。柔性台架关键尺寸如图1所示。

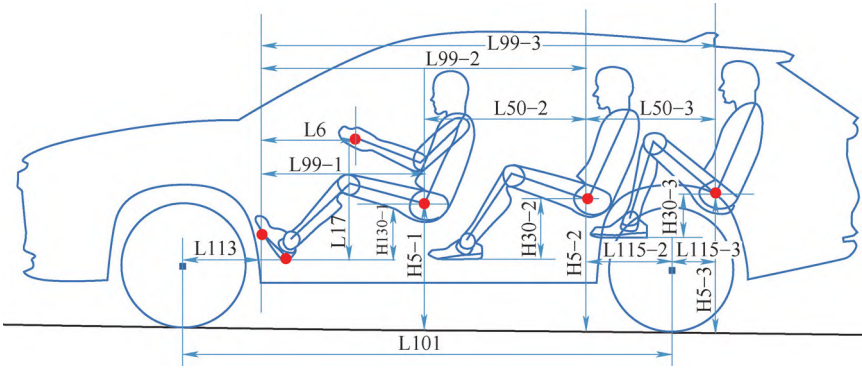


图1 柔性台架关键尺寸示意

（1）柔性台架带宽 基于公司开发项目数据及竞品分析，确定柔性台架的人机参数调节范围，以第一排参数为例，统计见表1。

表1 人机参数带宽

代码	含义	带宽/mm
L113	前轮心至BOFRP点 X向距离	300~600
H5-1	前排SgRP距离地面Z向距离	400~1030
H30-1	前排SgRP距离前踵点Z向距离	180~400
L99-1	前排SgRP距离BOFRP点 X向距离	850~1000
H61-1	前排头部空间	900~1200

定义零位初始车型位置是必须的，结合公司内的情况，选定某一款车型参数作为各机构的初始位置，从而根据带宽确定人机参数的正负方向调节量。

（2）机构行程 由于台架部分人机参数与其他人机参数关联，需根据尺寸链进行拆分，同时结合初始基准设计位置确定各机构调节行程。以H5-1为例，H5-1由H30-1及HA（前踵点距离地面高度）组成，尺寸链如图2所示。因此，明确H30-1及HA设计行程即可满足H5-1的设计带宽。其他机构调节行程参考同样的方法确定。

H30-1及前踵点距离地面高度调机构行程见表2。另外考虑机构稳定性情况时，可以适当缩小H30-1机构行程，通过前地板Z向机构进行弥补。

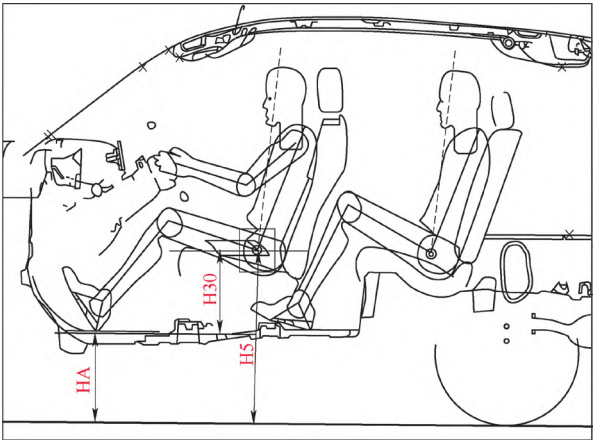


图2 H5-1尺寸链示意

表2 部分机构行程

序号	名称	行程/mm
1	HA前踵点距离地面高度 (台架整体抬升机构)	Z: -150~400
2	H30-1调节机构(前座椅机构)	Z: ±110 X: -70~50

（3）柔性柔性台架基础组成及机构调节 柔性台架的主要组成部分及关联人机参数见表3。为实现自动化控制，机构均采用电动调节。

（4）柔性机构设计及DMU（Digital Mock-Up）间隙校核 柔性台架采用多种调节结构组合设计。基础的结构形式包含电动丝杆-滑轨组件、电动丝杆-减速器联轴器组件，分别如图3及图4所示。

根据基础结构及装配关系设计出整体台架三维设计数据，柔性台架三维数据如图5所示。

表3 机构组成及调节形式

序号	名称	相关人机参数
1	台架整体抬升机构	H5
2	主驾地板机构	H5-1、H30-1、L53-1
3	副驾地板地板机构	H30-1、L53-1
4	二排地板机构	H5-2
5	三排地板机构	H5-3
6	主驾座椅机构	H30-1、W20-1、L99-1
7	副驾座椅机构	
8	二排左侧座椅机构	H30-2、W20-2、L99-2
9	二排右侧座椅机构	
10	三排左侧座椅机构	H30-3、W20-3、L99-3
11	三排右侧座椅机构	
12	转向管柱安装机构	L6、H17
13	加速踏板机构（悬挂式）	L113、PW98、PH16
14	加速踏板机构（地板式）	
15	制动踏板机构	PW92、PH26、PL52
16	搁脚板机构	PW47
17	顶棚机构（3段）	H61、W27、L38、L39、H35、H46
18	中央肘枕机构	

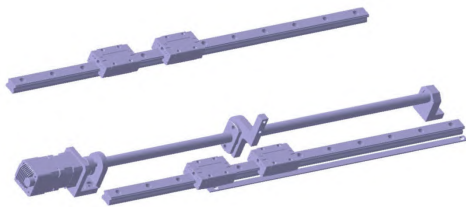


图3 电动丝杆-滑轨组件示意



图4 电动丝杆-减速机联轴器组件示意

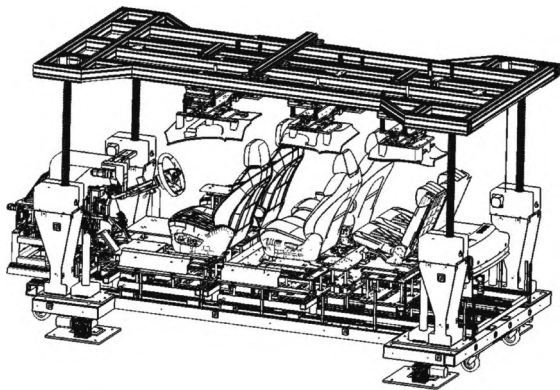


图5 柔性台架三维数据示意

柔性台架设计后应进行DMU数据装配检查，针对干涉情况进行结构微调，数据如图6所示。



图6 DMU数据结构示意

(5) 柔性台架关键硬点设计 柔性台架需提前选定安装座椅及管柱，通过在座椅上摆放三维H点装置获取到座椅H点与座椅安装点的位置关系（见图7），从而获得座椅安装点在整车坐标系中的坐标值，在台架设计中根据对应坐标值进行座椅安装点的设计。

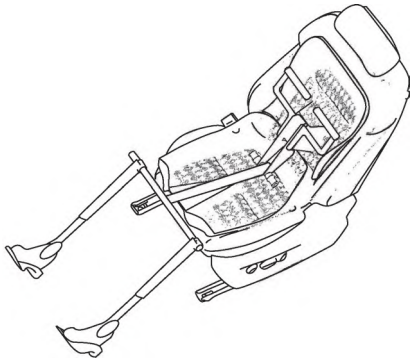


图7 三维H点装置示意

转向管柱在台架中的安装设计位置参考同样的方法确定。

柔性台架在设计过程中还应设计关键基准点，方便装配后进行各个机构零位的位置标定工作。

(6) 柔性台架CAE强度校核 柔性台架骨架及关键部件在承载能力等方面需进行校核，防止长时间使用后台架变形问题。

(7) 柔性台架加工装配及标定 柔性台架骨架焊接后应进行CNC机床加工，各个机构零件进行CNC机床加工，加工后进行整体的装配工作。整体装配工作

结束后进行关键点的三坐标打点及扫描工作，根据打点及扫描结果进行微调。

(8) 柔性台架电控线束走线设计 柔性台架中电动机线束较多，应提前进行走线设计，保证线束不影响台阶使用且美观。

(9) 柔性台架电控逻辑及电控设计 柔性台架需设计对应的底层电控逻辑及电控人机交互界面。电动机通过CAN通讯形式与控制单片机相连，人员控制平板通过WLAN与控制单片机相连接。控制逻辑如图8所示。

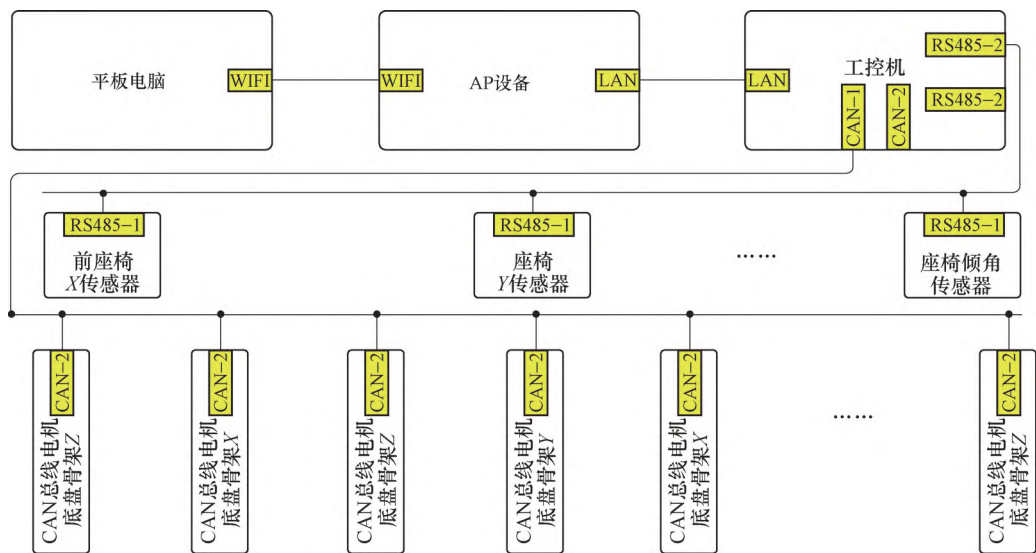


图8 电控逻辑示意

电控交互界面中柔性台架设计具有一键车型切换功能。柔性台架设计有12个子控制层级，包括底盘骨架、踏板、一排座椅、二排座椅、三排座椅、一排地板、二排地板、三排地板、方向盘/转向管柱、中央扶手、顶棚和行李舱/尾门槛，各个子层级可以独立电动控制，如图9所示。同时在座椅自身调节机构上安装有

传感器，可通过电控界面识别出座椅的调节位置。

柔性台架底盘骨架机构的控制界面如图10所示。

(10) 柔性台架维修便利性设计 柔性台架在设计制造过程中还应考虑到后期的维护的便利性、维修性等问题。

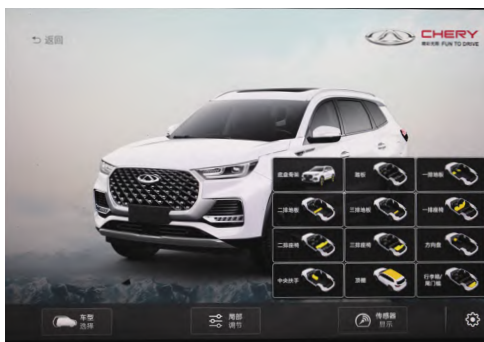


图9 柔性台架人机交互界面

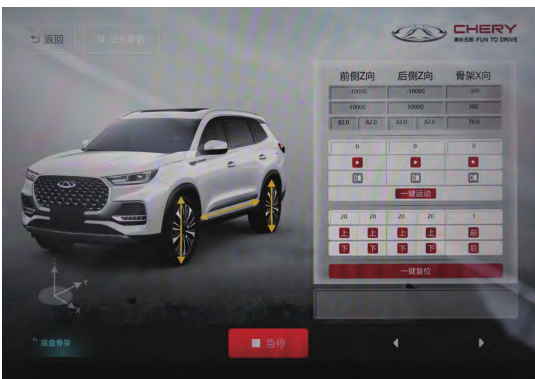


图10 底盘骨架控制界面

人机柔性台架应用

1.车型切换

通过将目标车型三维布置图与台架DMU数据进行匹配，计算台架整体抬升及前后移动距离，根据目标车型的三维布置图测量出前踵点离地高度及踩点的X向坐标，对比台架相应数值，将台架DMU数据图中前排踵点离地高度Z向及踩点X向位置做出相应调整，计算过程见表4。

根据计算后的机构调节量，进行DMU数据调试，踵点Z向调节机构及踩点X向调节机构DMU调试如图11所示。

表4 台架整体抬升及前后移动距离示例（单位：mm）

车型		踵点到地面高度距离	踩点的X向坐标
台架		387	474
目标调试车型		465	550
差值		78	76
台架调节	踵点Z向调节	正78	
	踩点X向调节	正76	

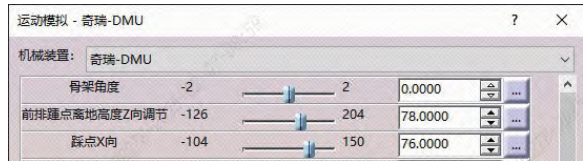


图11 DMU调试

调节前踵点（前排地板）机构，保证踵点高度一致后，测量各目标车型硬点与台架初始设计硬点之间X/Y/Z向的距离差值，得出台架在各个方向上的行程值。将行程值输入到电控交互界面中进行台架一键调节。台架调试顺序逻辑如图12所示。

2.3D打印件安装

为了更精准地验证内部空间，柔性台架顶棚、门槛、中央肘枕、行李舱改等区域预留了螺栓接口，目标调试车型的顶棚及门槛可进行3D打印制作，同时预留好与柔性台架的对接接口，通过DMU数据匹配，将机构调整到位后，安装3D打印件。

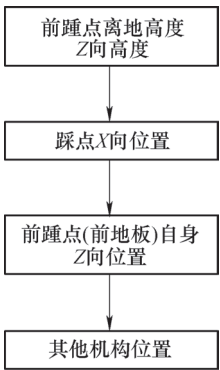


图12 台架DMU调试顺序

3.切换车型后位置检查与尺寸测量

台架在调试及3D打印件安装后需进行三坐标打点检验，确认其与设计位置的一致性。可以通过便携式三坐标测量仪的“调装检测”功能进行检查，检查过程如图13所示。这种方法精准度高，但受限于便携式三坐标测量仪的尺寸及位置限制，标定时间偏长。

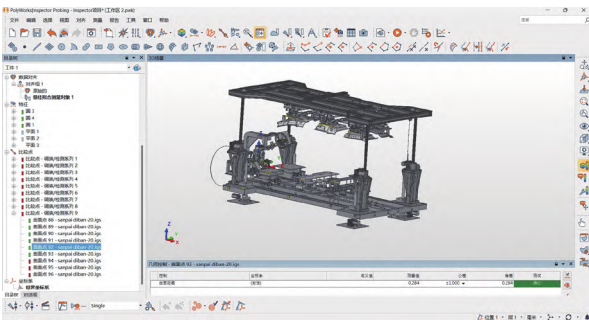


图13 便携式关机臂调装检测示意

本文柔性台架可以结合虚拟现实软件Techviz及动作捕捉A.R.T.使用，实现人机工程虚拟现实验证^[5]。基于三维空间坐标系转换后，可利用A.R.T.光学动作捕捉可以快速的进行顶棚、门槛、中央肘枕、行李舱等位置检测。具体方法如下：在A.R.T. Dtrack软件中创建刚体，通过Techviz中的“tools”功能，可在Techviz虚拟环境中创建对应同心刚体球。通过虚实联动的刚体球快速校准切换的车型位置，通过开启碰撞检测判定各调节机构的位置，直观快速。该检测方法属于行业前沿。具体操作形式如图14所示。

相较于传统便携式关节臂三坐标检测，A.R.T.光学捕捉系统具有检测效率高、空间适应性强的优势。两种检测方法对比见表5。

针对调试的目标车型的3D打印顶棚，可以再通过

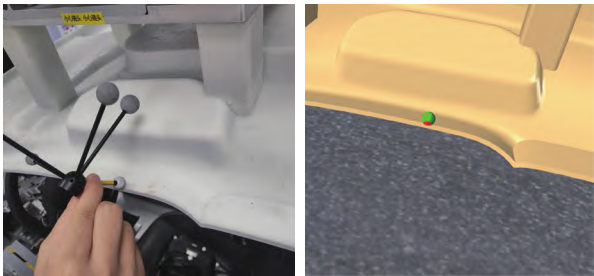


图14 A.R.T.刚体球位置检查示意

表5 台架位置检测方法对比

项目	A.R.T.虚实刚体球	便携式三坐标
检测时间/h	1	3
校准精度/mm	±0.5	±0.25
结果呈现	立体特征	点特征
检测范围	台架双侧	单侧（双侧蛙跳）

三维H点装置进行头部空间H61-1等数据的核查，如图15所示。



图15 三维H点装置测量头部空间

人机柔性台架应用研究结果

柔性台架可以进行坐姿与乘坐空间、视野可视性、操作便利性、上下车方便性、行李舱装卸等方面的评审及设计方案检验。柔性台架作为一种评审手段，在实际评审过程中应结合主观评价问卷进行结果统计。评审过程如图16所示。

以某车型头部空间评审为例，主观评价得分见表6。也可通过现场快速调节机构位置进行变更方案的评审。



图16 基于人机柔性台架的主观评价

表6 某车型后排头部空间主观评价得分对比

	方案一	方案二
人机参数	H61-2: 950	H61-2: 960
	H35-2: 35	H35-2: 45
	H46-2: 30	H46-2: 46
	H47-2: 30	H47-2: 46
	W27-2: 32	W27-2: 60
评审得分	6	7.5

结语

自动化人机柔性台架的开发及应用，为汽车研发提供了一种创新的验证方式。通过与虚拟数字模型、3D打印技术、VR虚拟现实技术等相结合，实现了对汽车人机工程设计的全方位、高效验证，有效克服了传统方法的局限性。在实际应用中，取得了降低成本、提升设计品质和缩短研发周期等显著成效。

实际应用表明，该柔性台架可使车型验证周期缩短30%，人机参数标定精度达到±0.5mm。随着未来技术的迭代，通过语音交互控制台架各机构运动将成为可能，对应用将更加便利。

参考文献：

[1] 任金东.汽车人机工程学[M].北京：北京大学出版社，2010.

[2] 朱一男.基于人机工程学的乘用车总布置开发[D].长春：吉林大学，2014.

[3] 支希帆，张学明.基于人机工程的驾驶舱柔性实验台架研究[J].时代汽车，2021（16）：10-11.

[4] 潘彦成，赵国栋，秦广义，等.整车模块化平台关键尺寸L113设定[J].汽车文摘，2021（7）：22-26.

[5] 杨克璧，张宝柱，张建豪，等.基于Techviz及A.R.T.动作捕捉技术的汽车人机工程虚拟现实系统[J].汽车技术，2025（2）：89-94. **AUTO1950**