

最新人体数据在高铁人因工程分析中的应用研究

文 | 姜良奎 中车青岛四方机车车辆股份有限公司 工程技术研究中心

一、引言

截至 2018 年底,我国高铁运营里程已达 2.9 万公里,占全球高铁运营里程的 65%,成为世界上高铁里程最长、运输密度最高和成网运营场景最复杂的国家。经过多年的发展,中国高铁从“和谐号”到“复兴号”,不仅运营速度有了大幅度的提高,舒适性、安全性和工业设计水平都有了很大程度的改进,以复兴号为代表的高铁装备已形成平台化、系列化产品谱系。

人体测量数据标准是开展人机工程学设计分析的基础,通过测量人体各部位尺寸,研究人的形态及动态特征在产品中的行为交互关系,优化产品设计,是人机工程学的重要组成部分。在高速动车组司机乘界面设计和产品研发过程中需要充分地应用人体测量数据,开展相关仿真验证,以提升车辆安全性和舒适性设计。

本文首先介绍当前设计研究现状,介绍中国人体尺寸数据的最新进展,明确人机工程分析流程。并以高速动车组驾驶室为例,将最新中国人体测量数据导入到仿真分析软件当中,进行操作空间分析、站立空间分析、维修空间分析以及视野分析,并提出改进建议。

二、高铁人因工程设计研究现状

在我国,由于高铁的快速发展,针对高速动车组的人机工程研究及应用也逐步开展。冀丽俊系统地从事环境设计、座椅与操控台设计以及作业空间设计对驾驶室人机工程设计

进行了深入研究,并对比了高铁与汽车、高铁与飞机及高铁与船舶驾驶室人机工程设计的区别。黄明从人体感官、人体形态、力学特性、人脑特性、人体姿态、温度、光照、振动和噪声九个方面介绍了人体工程学在动车组设计中的应用。郭北苑针对驾驶座椅选择、驾驶空间设计与驾驶视野校核等方面的几何适配性问题展开研究。姜良奎利用 CATIA 软件对地铁客车驾驶室的空间布置进行了人机工程验证。张永明从人机工程学的角度研究了司机控制台设备布置以及优化方案,从而提高了人机效能。尹航以 JACK 软件为分析工具,在驾驶舱设计过程中模拟司机的工作状态和操作行为,准确识别驾驶舱设计中需改进的人机工程问题。王一甲结合中国人体尺寸数据,对驾驶室进行了舒适性分析,提出了优化布局方案,并在 CATIA 软件中进行了人机工程验证。李洋以情境意识模型与情境圈模型为基础,提出了考虑情境意识的机车驾驶室人机界面设计思路。章勇通过对乘客行为特征的研究,对人因工程在高速列车车厢内平面布局设计中的应用进行了探讨。

在国外,高铁普及率高的国家有日本、法国和德国等国家,其运营时速大多在 200~300km/h,在安全性、舒适性和人机工程设计等方面能力都已发展到了较高的水平,其中德国 GRAMMER 高铁座椅设计,除了提供 V 型头枕,其背部轮廓设计可以支撑乘客大部分的脊柱关节,最大程度地贴合人体曲线。近年来,国外高铁的人机工程研究多侧重于人本身研究。John 研究了信号系统对于司机认知载荷对高铁驾驶安全性的影响。Michael 搭建了集各种新技术于一体的高

铁驾驶模拟器,用于验证新的技术以及硬件产品是否能提升司机的绩效表现等。

高速动车组人因工程设计从人机界面的空间关系研究,到司乘舒适性的单因素物理量研究,从物理因素到生理心理因素研究,到目前的多因素耦合研究应用,人体测量数据都是研究的基础和标准。

三、最新中国人体测量数据

1、最新人体测量数据

中国标准化研究院于 2010 年进行了最新中国成年人人体尺寸数据的测量工作,依据《GB/T 5703 用于技术设计的人体测量基础项目》开展。采样样本为 26 000 余人,为使采样样本具有代表性,人体测量抽样区域将全国按照地域划分为六大自然区,分别为:东北华北区、中西部区、长江下游区、长江中游区、两广福建区和云贵川区。人体测量设备需要采用国际上先进的非接触式人体三维扫描仪器,同时结合手工测量的马丁测量仪器和二维图像扫描仪。到目前为止,已基本完成数据采集工作,将于近期发布。

2、新旧版人体测量数据对比

我国在上世纪 80 年代发布了《GB10000-88 中国成年人人体尺寸》,作为我国最基础的人体尺寸测量数据,如表 1 所示。

表 1 人体测量数据

项目	新版	88 版
P50 身高	1693 mm	1678 mm
P50 体重	69.2 kg	59.0 kg

表 1 为 88 版和最新版第 50 百分位数 (P50) 人体尺寸数据的对比。对比新旧版人体数据发现男性差值最大的数据为腰围,增加了 86mm (与此同时女性腰围只增加了 19mm),女性胸围,增加了 96mm。百分比变化最大的数据为胸宽,男女分别增加了 22% 和 21%,如图 1 所示。

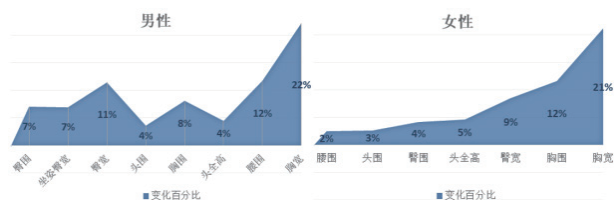


图 1 新旧版人体数据对比

在进行产品设计过程中,若依然采用《GB10000-88》中的人体数据,会对设计和分析结果造成很大的影响。图 2 所示为新旧版人体数据的 RULA 分析结果。



图 2 人机工程分析结果对比

四、人机工程分析方法

1、人机工程分析流程 (图 3)

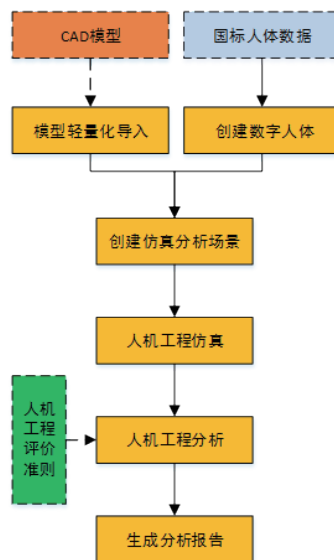


图 3 人机工程分析流程

对于一般的产品而言,基于人体测量数据的人因工程分析流程主要分为:创建分析场景,包括导入轻量化 CAD 模型以及创建标准数字人体;进行人因仿真,包括调节人体姿态、人与场景进行交互过程验证等;依据特定的人因工程标准或准则,进行相关内容评价;在有条件的环境下开展试验验证,通过仿真及试验对比,迭代优化工程设计。例如开展空间分析、视野分析和舒适性评价等。

2、创建数字人体方法

利用人体测量数据在仿真软件中创建数字人体,用于人机环境、产品造型、结构设计以及空间布局的仿真与分析。

Jack 是一款数字人体建模仿真以及人机工程分析评价软件,目前软件中采用的是 88 版的中国人数据。为了使设计分析结果更加准确,需将新版人体测量数据导入 Jack 软件中,创建新版国标数字人体。

(1) 定义新版中国人数据库。

```
def NEWCHINESE(humanName, stature, weight):
```

```
    global newchinese
```

```
    class newchinese(dimensionBase):
```

```
        def _init_(self, humanName, stature, weight):
```

```
            dimensionBase._init_(self, humanName, stature, weight)
```

(2) 注册新中国人体数据库。

```
def registerNewDatabase():
```

```
    sys.path.append( '..\Siemens\Jack_7.1\extras\
```

```
    Anthropometry' )
```

```
    registerAnthroDatabase( 'NEWCHINESE', 'NEWCHI
    NESEdb' )
```

```
    addPercentileValue(database_name, percentile, male_
```

```
    stature_cm, male_weight_kg, female_stature_cm, female_
    stature_kg)
```

(3) 新中国人体数据库可编辑项。

```
#HEAD_B, HEAD_D, HEAD_H
```

```
#NECK_B, NECK_D, NECK_L
```

```
#BICEP_B, BICEP_D, BICEP_L
```

```
#ELBOW_B, ELBOW_D, FOREARM_L
```

```
#WRIST_B, WRIST_D
```

```
# HAND_B, HAND_D, HAND_L
```

```
#CHEST_B, CHEST_ANT_D, CHEST_PST_D
```

```
#WAIST_B, WAIST_ANT_D, WAIST_PST_D
```

```
# FULL_TORSO_L, TORSO_L, PELVIS_H
```

```
# BUTT_B, BUTT_ANT_D, BUTT_PST_D
```

```
#THIGH_INT_B, THIGH_INT_D, THIGH_B, THIGH_D,
    THIGH_L
```

```
# KNEE_B, KNEE_D, CALF_B, CALF_D, CALF_L
```

```
# ANK_MIN_B, ANK_MIN_D, ANKLE_B, ANKLE_D
```

```
# FOOT_B, FOOT_L, FOOT_H
```

```
# HIP_JNT_B, TPOSE_BIACROMIAL_B
```

五、案例分析

高速动车组司机室是列车驾驶作业空间,空间作业内容包括驾驶作业、活动作业和维修作业等,是动车组上人机交互行为最复杂的空间之一,因此选择司机室为例进行人机工程分析。

1、人机工程评价准则

UIC651 是国际铁路联盟针对机车、动车、动车组和驾驶拖车的标准规程,规程的制定不仅是为了便于国际联运,而且也对司机室的设计提出一般要求,是司机室设计的指导性文件。结合人体尺寸数据,主要针对司机作业空间、站立空间、视野范围等有着详细的规定。司机作业空间是由多方因素共同决定的,主要取决于司机的生理特征、驾驶室造型设计以及设备的布置方式,手的理想触及半径如图 4 所示。

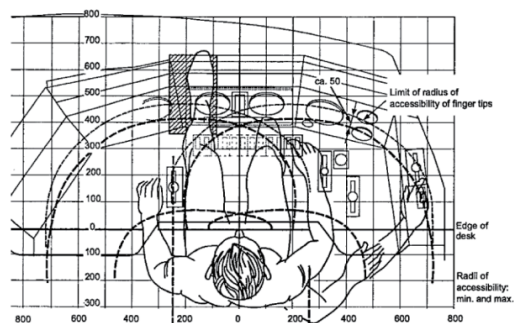


图 4 司机手伸及到的半径

视野范围主要取决于司机的视点高度、遮挡物以及高低信号距离,如图 5 所示,参照表面内的每一点处能看见车端前部平面 10m 或 10m 以外的距轨道中央右侧或左侧 2.50m 处的高处信号和线路上方高达 6.30m 的高处信号,能看到前部平面 15m 或 15m 以外的轨道中央右侧或左侧 1.75m 处的低处信号。

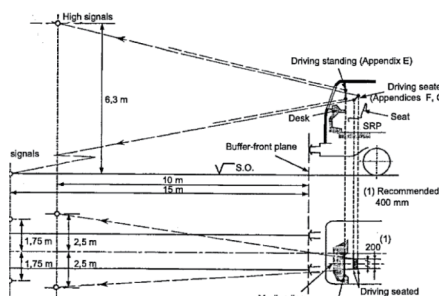


图 5 UIC 视野参照位置和信号可见条件

2、创建人机工程分析环境

目前我国的轨道车辆司机多为男性,在最新中国成年人人体测量尺寸中,男性第 5 百分位人体(下文用 P5 代指)的身高为 159.1cm、第 50 百分位人体(下文用 P50 代指)的身高为 169.3cm、第 95 百分位人体(下文用 P95 代指)的身高为 179.7cm,分别建立了 P5、P50 以及 P95 的数字人体用于后续分析。将 P5 的数字人体作为分析的下限, P95 的数字人体作为分析的上限,而 P50 的数字人体作为分析的平均参数。P5、P50 和 P95 的数字人体如图 6 所示。

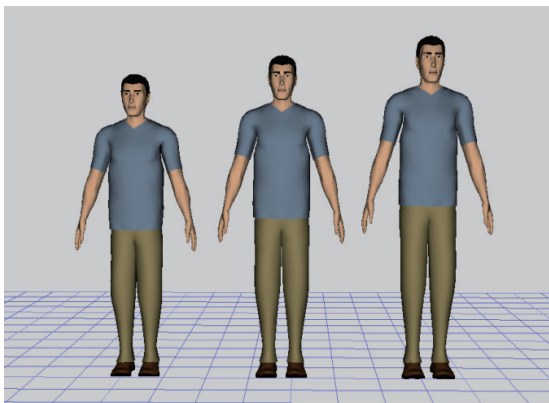


图 6 P5、P50、P95 数字人体

为了便于在 JACK 软件中对高速动车组司机室进行人机分析,对于不影响驾驶室内部人机分析的车体外结构和不相关零部件等模型进行了删减优化处理,部分不便删除的车体结构进行了半透明处理,如图 7 所示。

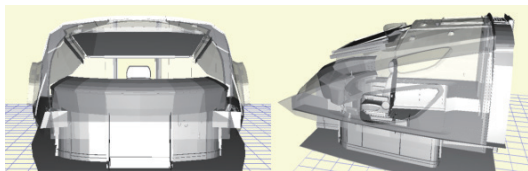


图 7 高铁客车驾驶室模型

3、人机工程分析内容

依据 UIC651 标准,应用最新人体测量数据,对动车组司机室内的操作空间、站位空间、维修空间以及驾驶视野进行分析。

(1) 操作空间分析,如图 8 所示。

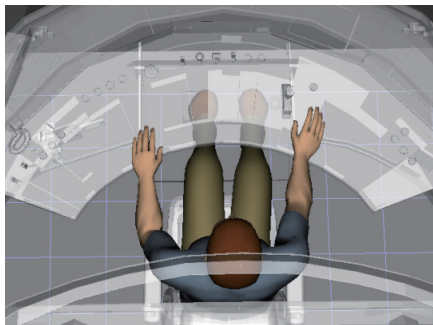


图 8 操作空间分析

操作空间是指司机在司机操控台前的作业活动范围,采用 P5 数字人体进行分析,调节 P5 数字人体姿态,与正常司机姿态一致,进行操作空间分析。

(2) 站立空间分析。

分别采用 P5 和 P95 数字人体对驾驶室内部空间进行站立空间分析。

(3) 视野分析。

采用 P5 以及 P95 数字人体在坐姿情况下仿真是否满足 UIC651 要求的高处信号和低处信号视野要求。分析驾驶室模型分为两种:一种是遮阳帘处于全部展开状态,另一种是遮阳帘处于全部收拢状态。

图 9 所示为操作空间分析结果: P5 数字人体处于正常坐姿时,车辆控制手柄处于右手的有效控制范围内;当腰部以理论最大活动范围(弯曲 85° , 水平转动 $\pm 40^\circ$)运动时,左/右手食指的操作空间包含了操纵台上所有的操作终端,满足 UIC651 对于操作空间的要求。

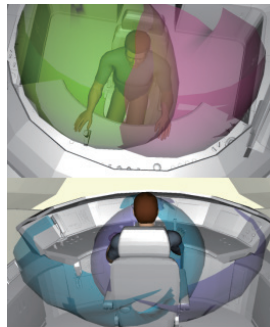


图 9 操作空间分析结果

图 10 所示为站立空间分析结果：驾驶室前端座椅两侧站立空间预留不足，不满足 UIC651 对于站立空间的要求。驾驶室后端座椅后方站立空间满足 UIC651 对于站立空间的要求如表 2 所示。



图 10 站立空间分析

表 2 视野分析结果是否满足 UIC651 要求

数字人体	遮阳帘展开	遮阳帘收拢
P5	不满足	不满足
P95	不满足	满足

表 2 所示为视野分析的结果。无论遮阳帘处于展开或收拢的状态，P5 数字人体的视野分析结果均不满足 UIC651 对于前方视野的要求；P95 数字人体的视野在遮阳帘收拢时，满足 UIC651 对于前方视野的要求。

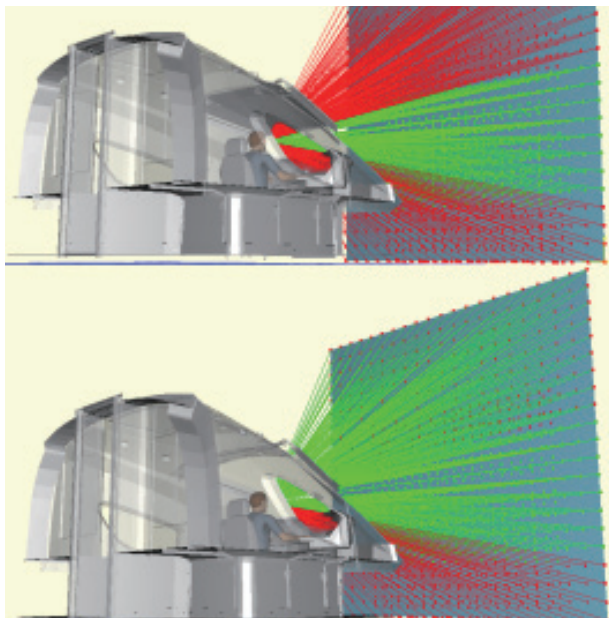


图 11 P5 数字人体视野分析

图 11 所示为 P5 数字人体的视野分析结果。其中红色视线代表视野被遮挡，绿色视线代表司机的有效视野范围。当

遮阳帘展开时，P5 数字人体既无法看到高处信号，也无法看到低处信号；当遮阳帘收拢时，P5 数字人体可以看到高处信号，但无法看到低处信号。

图 12 为 P95 数字人体的视野分析结果。当遮阳帘展开时，P95 数字人体可以看到低处信号，但无法看到高处信号；当遮阳帘收拢时，P95 数字人体既可以看到高处信号，又可以看到低处信号。

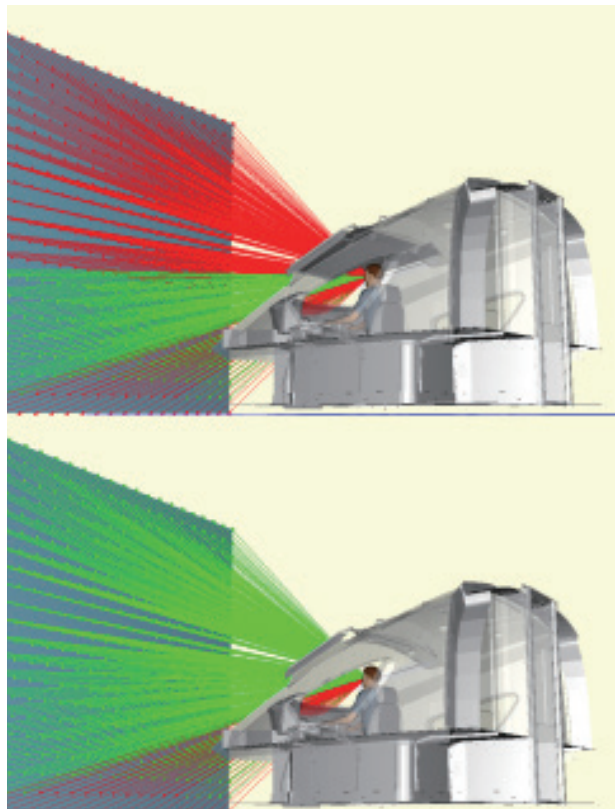


图 12 P95 数字人体视野分析

六、结论

采用最新中国人体测量数据分析后发现，某型高铁驾驶室的人机工程设计不完全满足 UIC651 的设计要求。基于最新人体测量数据开展了针对高铁的人机工程分析应用研究，设计了人机工程分析流程，并以某型高铁驾驶室的案例说明，最新人体测量数据可有效地应用于人机工程分析，所研究的人机工程分析流程有助于快速发现设计问题，有助于提升高铁人机工程的设计能力。IM