

基于公共交通型自动扶梯客伤的人机分析与研究

徐建方¹, 李向东², 李耿³, 高瞩^{1,3}

(1. 常州工学院, 常州 213002; 2. 江苏省特种设备安全监督检验研究院, 南京 210036; 3. 西安理工大学, 西安 710054)

摘要: **目的** 基于公共交通型自动扶梯所发生的伤亡事件, 研究扶梯客伤事故中几种不合理的人机关系。**方法** 运用儿童人体尺寸参数的统计分析、人机视觉规律计算方法、人体尺寸数据、虚拟人技术等人机工程分析方法。对自动扶梯中不合理的安全距离、不足的辨识度、不合理的零部件尺寸以及扶梯的人机设计缺乏动态设计等方面进行了人机关系的分析与研究。**结论** 得出自动扶梯安全人机尺寸, 并针对自动扶梯的设计和检验提出建议。

关键词: 公共交通型自动扶梯; 扶梯客伤; 人机工程学; JACK

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)02-0082-05

Ergonomics Analysis and Research Based on Escalator Passenger Injury

XU Jian-fang¹, LI Xiang-dong², LI Geng³, GAO Zhu^{1,3}

((1. Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, China; 2. Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210036, China; 3. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China))

ABSTRACT: Based on the public traffic type escalator passenger casualties, several unreasonable escalator passenger injury accident statistics is analyzed. Using children's body size parameters, calculation method of human-computer visual rules, anthropometric data, virtual human technology. Ergonomics relationship is analyzed and researched on the design of man-machine escalator not reasonable safety distance and the lack of recognition, the unreasonable parts size. Safety ergonomics dimension of escalator is obtained, the proposal of the design and test is provided.

KEY WORDS: public traffic escalator; passenger injury; ergonomics; JACK

公共交通型自动扶梯主要架设于火车站、汽车站、过街天桥、地下通道等人流量大的场所, 是公共交通系统包括出口和入口处的组成部分, 它被高强度使用, 即每周运行时间约 140 h, 且在任何 3 h 的间隔内, 其载荷达 100% 制动, 载荷的持续时间不少于 0.5 h。

1 公共交通型自动扶梯现状

人机工程学是运用人体科学、系统科学、社会学、管理学、技术科学等学科的理论及知识, 研究人、机和环境之间的关系, 探讨通过适当的设计使人机系统达到高工效和安全性^[1]。基于人机工程学进行产品安全

性的研究有很多, 侯建军、申黎明^[2]从人机工程学角度, 对床屏尺寸、材料及人体支撑点对倚靠舒适性的影响进行探讨; 申福林、杜国省^[4]利用儿童人体尺寸参数的统计分析方法对儿童专用校车的人机参数进行设计; 马西沛、贾会欣等人^[5]通过对用户使用手机习惯和人体特征的研究, 提出一种新型手机的设计理念。而基于公共交通型自动扶梯进行的安全性分析与研究则主要集中在安全防护设计、儿童尺寸参数统计分析、人体统计数据应用、扶梯结构参数设计以及计算机辅助人机工程设计方法等方面。程东东、翟华^[2]结合广义功率理论计算方法与安全可靠理论提出安全人机工程学主动设计方法; 叶佳娜^[6]运用人机工

收稿日期: 2015-09-04

基金项目: 国家质量监督总局 2012 年安全生产重大事故预防关键技术科技项目

作者简介: 徐建方(1959—), 男, 常州人, 常州工学院副教授, 主要从事人因工程与空间设计方面的研究。

程学的方法对自动扶梯梯级、扶手、斜度等进行分析和改进。随着虚拟人技术的快速发展,国内外虚拟人体模型和虚拟环境空间^[9-10]的研究已经成为当前人机工程学研究热点。马智^[7]等人提出了中国人体模型的构建方法,并给出了运用 JACK 软件进行人机工效分析的具体思路。智睿瑞、刘社明^[8]通过在 JACK 中创建符合我国 1%、50%、99% 的驾驶员的虚拟人模型。分析驾驶舱中可视域、可达域、舒适性等方面问题,并提出改进意见。

由此,针对公共交通型自动扶梯人机问题进行的研究还很不深入。随着我国各地地铁的大量兴建,公共交通型自动扶梯的需求量极大,其安全性问题越来越突出,直接关系到人民群众的人身安全。基于此,亟需分析公共交通型自动扶梯上乘客的各类伤亡事件,运用儿童人体尺寸参数的统计分析、人机视觉规律计算方法、人体尺寸数据、虚拟人技术等手段,对自动扶梯与乘客相关的尺寸进行设计分析与深入研究,并提出具体的修改建议。

2 扶梯客伤事故中的不合理人机关系

自动扶梯基本结构及其主要装置见图 1-2。公共交通型自动扶梯的主要结构包括梯级、牵引链条、梯路导轨系统、驱动装置、张紧装置、扶手装置、金属结构以及安全装置等若干部件。

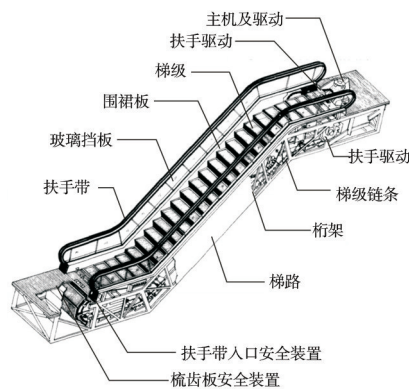


图1 自动扶梯基本结构
Fig.1 The basic structure of escalator

扶梯的客伤是指在公共交通型自动扶梯上、扶梯入口处、扶梯出口处发生乘客伤亡的事件。从江苏省特检院公共交通型自动扶梯全国事故 100 件案例的统计数据表明,公共交通型自动扶梯的事故呈现出不同的特点。其中机械夹人事件最为典型,占事故总数的 54%,而且机械夹伤造成的后果往往很严重,儿童是这

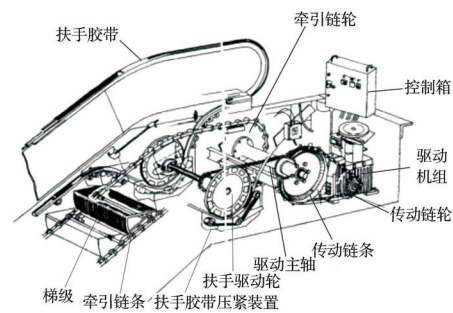


图2 自动扶梯主要装置
Fig.2 The main device of escalator

类事故的主要受害者,事故的发生正是因为不合理的人机关系所致,主要包括安全距离设计得不合理、扶梯梯级与标志等设计的辨识度不够、零部件尺寸设计得不合理以及扶梯人机设计没有进行动态分析等。

3 扶梯人机工程学分析与设计

国家电梯标准化技术委员会于 2011 年制定发布了 GB 16899-2011《自动扶梯和自动人行道的制造与安装规范》,标准主要参考了欧洲标准 EN 115-1,但较少考虑到扶梯与乘客之间的人机关系以及中国人体尺寸。

3.1 安全距离设计

在公共交通型自动扶梯的事故中,最多的一类事故就是机械夹人,儿童往往是极易受到伤害的人群,故应对儿童尺寸进行重点设计分析。在国标中所提供的人机工程学尺寸数据尚没有儿童的相关尺寸,主要是儿童处在成长期,尺寸变化比较大。这里调研了 3~6 岁儿童的指尖、手掌、足尖等数据,一共 50 组,基于人机原理进行统计归纳,见表 1。

表 1 儿童的指尖、手掌、足尖的数据
Tab.1 Data of children's fingers, palms, toes

项目		均值 $\bar{x}$	标准差 S_D
儿童 (3~6岁)	指尖/mm	4.46	0.028
	手掌/mm	6.23	0.072
	足尖/mm	8.51	0.140

子样本平均数:

$$\bar{x} = \frac{1}{m}(x_1 + x_2 + \cdots + x_m) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad (1)$$

子样本方差:

$$S_D^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

欲求出第1百分位的儿童尺寸 x_a 时,则计算公式如下

$$x_a = \bar{x} + KS_D$$

(3)

当 a 取1时,变换系数 K 为-2.326,便得到 x_1 为4.39 mm。

由于指尖为乘客身体部位的最小尺寸,为了防止手掌、手指、脚趾被夹的危险,扶梯的间隙设计只要小于第1百分位的儿童指尖值,故得出其间隙应设计小于4 mm。

3.2 辨识度设计

在扶梯的伤亡事故中,摔伤最为典型,主要发生在扶梯入口处和出口处。由于乘客刚踏入自动扶梯时难以看清情况,极易踩到两个梯级中间导致摔伤,因此扶梯梯级设计中,两梯级之间的辨识度设计显得极为重要。

根据人机视觉规律,人们辨别不同颜色时,易辨认的顺序是红、绿、黄、白。当两种颜色混合在一起时,易辨认的顺序是黑底黄字、黄底黑字、黑底白字、紫底黄字、紫底白字等。考虑到梯级钢条是黑色的,最佳的配色可确定为黄色,故一般在边框上刷黄漆以提醒人们注意梯级,而且在GB2893-2001《安全色》中规定,黄色表示注意、警告的意思,警告人们应注意黄色标记的器件、设备或环境等。通常扶梯梯级设计为黑色,边框为黄色,为人们乘坐扶梯增强辨识度。

此外,扶梯安全标志对人们乘梯也起到重要的警示作用。自动扶梯标志见图3,当前全国各地的扶梯标志大小因具体扶梯各不相同,缺乏统一的尺寸大小,且标志的辨识度不够高。根据人机工程学视觉规律,认读字符的相关尺寸应符合近似计算公式^[1]:

$$H = \frac{La}{3600}$$

(4)

其中: H 为字符高度,单位为mm; L 为观察距离,单位为mm; a 为人眼观察视角。



图3 自动扶梯标志
Fig.3 Escalators sign

认读安全标志一般设置在自动扶梯入口处,取 L 为2000 mm, a 视角约为45°,根据公式(4)计算得出 H 为250 mm,而GB16899规定标识直径不小于80 mm,

因此建议安全标志直径为250 mm,若安全标志为圆角矩形,则圆角矩形边长为250 mm。

3.3 零部件尺寸设计

我国现行各大扶梯厂商在零部件尺寸的设计上差异性很大,缺乏统一性,不便于制造质量的科学监控,也存在安全隐患。这里重点对扶手带的高度、宽度,梯级的宽度、高度等尺寸进行验证性设计。

手部尺寸见表2,考虑到女性穿高跟鞋的尺寸修正量为25 mm~38 mm,而手肘的舒适位置倾斜5°~10°,因此扶手带的高度可确定为:960+25mm(功能修正量)+50 mm(心理修正量)=1035 mm

故建议公共交通型自动扶梯的扶手带高度可统一为1000 mm。由于表2只是对成年人进行分析,没有考虑到儿童尺寸因素,这里对儿童的尺寸进行了统计分析,得出儿童的扶手带高度可选为500 mm~600 mm。综上所述,依次可确定扶手带统一宽度为85 mm、梯级的深度不应小于380 mm,高度不应大于240 mm。

表2 手部尺寸
Tab.2 Hand sizes

男(18~60岁)							
百分位	1	5	10	50	90	95	99
手肘高/mm	925	954	968	1024	1079	1096	1128
手长/mm	164	170	173	183	193	196	202
手宽/mm	73	76	77	82	87	89	91
食指长/mm	60	63	64	69	74	76	79
女(18~55岁)							
百分位	1	5	10	50	90	95	99
手肘高/mm	873	899	913	960	1009	1023	1050
手长/mm	154	159	161	171	180	183	189
手宽/mm	67	70	71	76	80	82	84
食指长/mm	57	60	61	66	71	72	76

3.4 公共交通型扶梯的动态尺寸设计

扶梯的尺寸设计过程中,除了考虑静态尺寸外,还应考虑动态尺寸。这里基于JACK虚拟人技术,以苏州地铁乐桥站7号口公共交通型扶梯为研究对象,进行详细的动态人机分析与评价。

3.4.1 基于JACK虚拟人技术分析的一般流程

基于JACK虚拟人分析一般分为3个阶段,即场景构建、人机模拟,及分析与评价,基于JACK虚拟人技术分析流程,见图4。

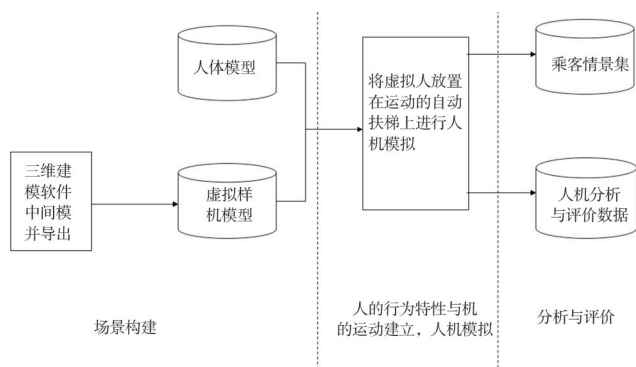


图4 基于JACK虚拟人技术分析流程

Fig.4 The analysis flow chart of JACK based on virtual human technology

3.4.2 虚拟人体模型的建立

由于这里使用的JACK并不提供中国人的人体模型,在自动扶梯模型导入后,需自行建立人体尺寸模型,见图5。利用GB 10000-88中中国成年人人体尺寸标准中对应的人体数据,第5,50,95百分位男子以及5岁儿童的人体模型见图6。

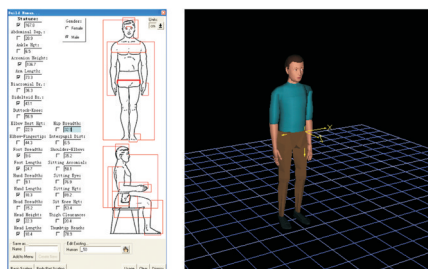


图5 人体尺寸模型

Fig. 5 Body dimensions

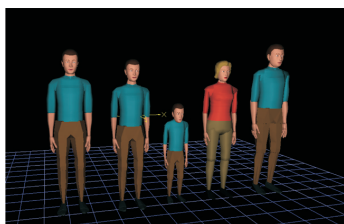


图6 第5,50,95百分位男子以及5岁儿童的人体模型

Fig.6 Fifth, fiftieth, ninety-fifth percent of men and the human body model of 5 years old children

3.4.3 基于JACK虚拟人技术的动态分析

1) 视域。JACK软件的视域分析模块可以产生乘客的视区图及双眼的视锥图。通过分析,可得第95个百分点乘客在自动扶梯上具有较好的视域,但在入口处由于通道高度不够,显得空间有些压抑。第95百分位人在自动扶梯的视域分析见图7。

2) 可达域。自动扶梯设计中,可达域分析主要指乘客头和手与建筑物之间的距离,以及上行扶梯与下行扶梯之间的距离。可达域的分析中应考虑到儿童手肘与扶手带之间的距离。5岁的儿童和第95百分位的人可达域分析见图8。

图7 第95百分位人在自动扶梯的视域分析
Fig.7 The ninety-fifth percentile analysis in view of person of escalator图8 5岁的儿童和第95百分位的人可达域分析
Fig.8 Analysis of human reachable domain between 5 years old children and ninety-fifth percentile

结果表明,第95百分位乘客与建筑物之间的距离合理;考虑到儿童好动好玩的特点,这里对儿童腰部弯曲角度均进行了相应调整,得到儿童易于接触梯级之间的间隙,以及能接触到梯级与挡板之间的间隙。

3) 力与扭矩。JACK的Human Force and Torque Analysis是分析力与扭矩的主要工具,由于是三维状态下的分析,因此使用的是世界坐标,而实际使用中都是局部单维力,比如扶梯上乘客手的摩擦力,这个力应该是平行于扶手带作用在手指上的,因此,在分析中需要进行局部坐标与世界坐标力的转换。先对给定的力进行局部坐标的分解,分解方程转换如下:

$$\begin{pmatrix} F'_x \\ F'_y \\ F'_z \\ 1 \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ 1 \end{pmatrix}^T \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

对于第5百分位的乘客而言,手抓扶手带受到沿x轴向摩擦力的作用,根据力学关系, $F_x=400\text{ N}$,输入JACK力与扭矩分析工具中得到分析,见图9。结果显示右胳膊上部关节受到较大的力作用,对于自由度来讲,虚拟人肩部正面方向和顶面方向自由度较大。

4 结语

基于公共交通型自动扶梯的一些典型伤害事故,

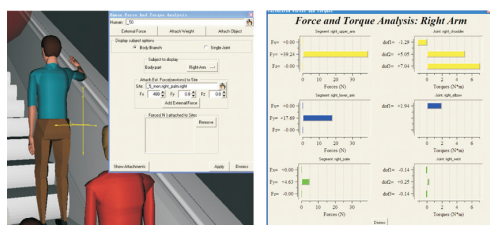


图9 第5百分位的人受力与扭矩分析

Fig.9 Analysis of force and torque of fifth percentile

分析了扶梯客伤事故中不合理的人机关系,对其安全距离的设计、辨识度设计、零部件尺寸设计、公共交通型自动扶梯的动态设计提出了具体的改进措施。改进内容主要有:(1)防止手掌、手指、脚趾被夹的危险,其间隙应设计为小于4 mm;(2)扶手带与墙体大于400 mm,扶梯之间距离大于600 mm;(3)扶梯每个安全标志的直径设计为250 mm;(4)扶手带的高度统一设计为1000 mm;(5)扶手带统一的宽度为85 mm。并将人机分析软件JACK应用于自动扶梯的设计中,使人机关系更合理有效。

参考文献:

- [1] 王保国,王新泉,刘淑艳.安全人机工程学[M].北京:机械工业出版社,2012.
WANG Bao-guo, WANG Xin-quan, LIU Shu-yan. Safety Ergonomics[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2012.
- [2] 侯建军,申黎明.床屏设计的人机工程学探讨[J].包装工程, 2014, 35(4): 32—35.
HOU Jian-jun, SHEN Li-ming. The Bed Screen Design Based on Ergonomics[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(4): 32—35.
- [3] 申福林,杜国省.学龄前儿童专用校车座椅参数设计[C]//2009中国汽车工程学会年会论文集, 2009.
SHEN Fu-lin, DU Guo-sheng. Preschool Children Special School Bus Seat Design Parameters[C]//2009 Chinese Automobile Engineering Society Annual Meeting Proceedings, 2009.
- [4] 马西沛,贾会欣,吴婷.基于人机工程学的双屏手机研究[J].包装工程, 2014, 35(14): 61—64.
MA Xi-pei, JIA Hui-xin, WU Ting. Double-Screen Mobile Phone Based on Ergonomics[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(14): 61—64.
- [5] 程东东,翟华,永成赵.安全人机工程学主动设计方法研究[J].锻压设备与制造技术, 2013(6): 9—11.
CHENG Dong-dong, ZHAI Hua, YONG Cheng-zhao. Study on the Method of Design of Active Safety Ergonomics[J]. Forging Equipment and Manufacturing Technology, 2013(6): 9—11.
- [6] 叶佳娜.自动扶梯的安全人机工程学分析及改进[J].工业设计, 2010(5): 115—116.
YE Jia-na. Analysis and Improvement of Safety Ergonomics of Escalator[J]. Industrial Design, 2010(5): 115—116.
- [7] MAATTA T. Virtual Environments in Machinery Safety Analysis and Participatory Ergonomics[J]. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 2007, 17(5): 435—443.
- [8] SIEFERT A, PANKOKE S, WOLFEL H. Virtual Optimisation of Car Passenger Seats: Simulation of Static and Dynamic Effects on Drivers' Seating Comfort[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2008, 38(5): 410—424.
- [9] 马智,薛红军,苏润娥.基于JACK的人体建模与人机工效分析[J].航空计算技术, 2008(1): 97—100.
MA Zhi, XUE Hong-jun, SU Run-e. Based on JACK Human Modeling and Analysis of Ergonomics[J]. Aeronautical Computing Technique, 2008(1): 97—100.
- [10] 智睿瑞,刘社明.基于虚拟人的驾驶舱布局分析[J].机械制造, 2014(2): 32—35.
ZHI Rui-rui, LIU She-ming. Analysis of the Cockpit Layout Based on Virtual Human[J]. Machinery Manufacturing, 2014(2): 32—35.
- [11] 刘刚田,吉晓民.人机工程学[M].北京:北京大学, 2010.
LIU Gang-tian, JI Xiao-min. Ergonomics[M]. Beijing: Peking University, 2010.
- [9] 张吴湖. POP瓦楞纸板展示架的形态与结构设计研究[D]. 无锡:江南大学, 2008.
ZHANG Wu-hu. Conformation and Configuration Research on POP Corrugated Displays[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008.
- [10] 林立平.纸家具的设计策略与原则[J].家具与室内装饰, 2010(11): 48—49.
LI Li-ping. Study and Design of Modular Children Card-board Furniture[J]. Furniture & Interior Design, 2010(11): 48—49.
- [11] 李莉.纸在家居设计中的应用研究[J].包装工程, 2014, 35(16): 75—77.
LI Li. The Application of Paper in Furniture Design[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(16): 75—77.

(上接第81页)