

文章编号: 1671-6612 (2019) 02-103-05

基于 FDS 的行李架 对高速列车客室火灾影响的研究

苟琦林 毕海权 李 盎

(西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

【摘要】 随着我国高速铁路的快速发展,列车火灾安全问题日益受到重视。利用 FDS 建立了我国某型高速列车二等座车厢火灾数值计算模型,对可燃行李架和不可燃行李架两种特定火灾工况进行了数值计算,研究了行李架对高速列车客室火灾的影响。研究表明,行李架对客室火灾有显著的影响,不仅能影响火灾发展速度,还可以影响热释放速率峰值。

【关键词】 FDS; 高速列车; 客室火灾; 行李架

中图分类号 U298.4 文献标识码 A

Study on the Influence of Luggage Rack on Passenger Compartment Fire in High Speed Train Based on FDS

Gou Qilin Bi Haiquan Li Ang

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

【Abstract】 With the rapid development of high-speed railway in China, the fire safety problem has been paid more and more attention. The paper builds a fire numerical model for a high-speed train in China by using FDS, and then studies the effect of the luggage rack on the passenger compartment fire of high speed train for two specific fire situation: combustible luggage rack and non-combustible luggage rack. The research results show that the luggage rack has a significant impact on the passenger compartment fire, it not only affects the development speed of fire, but also the peak of heat release rate.

【Keywords】 FDS; high speed train; passenger compartment fire; luggage rack

0 引言

近年来,我国高速铁路快速发展、取得了举世瞩目的成就。京沪高铁、哈大高铁、西成客专、贵广高铁等高速铁路相继建成通车并投入运营,截止 2016 年底,我国建成通车高速铁路运营里程达到 2.2 万公里以上,居世界第一位。随着“一带一路”和高铁“走出去”战略的实施,我国高速铁路技术必将得到更大的发展。高速铁路快速发展的同时,高速列车运行安全问题也不容忽视。列车空间狭小、气密性好、

人员密集,如果列车客室内发生火灾,火灾产生的烟气和热量难以散发、乘客疏散困难,乘客生命安全会受到严重威胁。巴库、大邱地铁火灾以及发生在埃及印度等地的列车火灾事故^[1,2]均表明列车火灾事故极易造成群死群伤的灾难性后果。

国外对列车火灾的研究主要集中在欧洲、美国、澳大利亚、加拿大等发达国家和地区^[3,6],由于我国在列车火灾研究领域起步较晚,目前对高速列车客室火灾发展特性的研究仍较少。

基金项目: 国家重点研发计划(高速列车火灾燃烧特性及火灾条件下列车运行环境与疏散耦合技术研究 2016YFB1200403-B-01)

作者简介: 苟琦林(1993.1-),男,在读硕士研究生, E-mail: 2546559373@qq.com

通讯作者: 毕海权(1974-),男,教授, E-mail: bhquan@163.com

收稿日期: 2018-05-10

对于墙角火灾情形或者发生在靠近侧墙座椅处的火灾情形,火焰在贴壁效应下沿可燃侧墙竖直向上蔓延,行李架将对竖直向上蔓延的火焰产生一定影响进而影响火灾发展过程。目前,国内外对行李架对客室火灾影响的研究涉及较少。1984年,美国 NIST 通过一组列车全尺寸局部火灾实验研究了行李架的燃烧性能对火灾过程的影响^[7]。但该研究仅仅涉及列车车厢内局部火灾过程,并未对行李架对整车火灾发展过程的影响进行研究。

本文以我国某型高速列车为研究对象,基于 FDS 程序采用数值计算方法对行李架对高速列车客室火灾发展的影响进行了深入研究。

1 数值计算模型

本文以我国某型高速列车二等座车厢为研究对象,如图 1 和图 2 所示分别为列车客室断面和平面布局。车辆尺寸约为 24.2m×3.36m×3.89m,定员 85 人,座椅采用 2+3 布置。两侧各设置十个车窗,其中 3 个紧急逃生窗,如图 3 车辆侧视图所示。

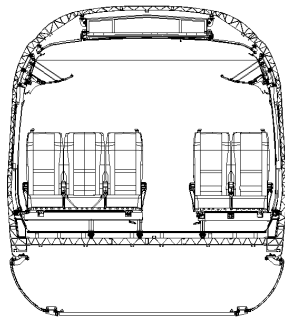


图 1 客室断面图

Fig.1 Section map of the passenger compartment

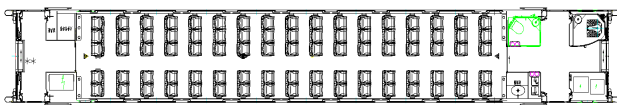


图 2 客室平面布局

Fig.2 Layout of the passenger compartment

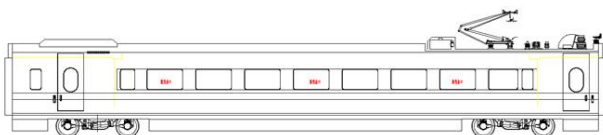


图 3 车辆侧视图

Fig.3 Side view of the vehicle

根据列车设计资料,利用 FDS 程序前处理软件 Pyrosim 建立如图 4 所示的列车火灾数值计算模

型。FDS 中提供了两种模拟固体材料燃烧过程的方法:热解反应法和 HRRPUA 法。热解反应法采用 Arrhenius 模型来模拟材料热解反应,所需参数较多,工作量和复杂程度均较大。HRRPUA 法需要利用锥形量热仪测试获取材料单位面积热释放速率曲线、产烟量、CO 产量等相关数据,相对简单和应用更普遍,目前国内外常采用该方法进行火灾数值计算。本文决定采用 HRRPUA 法模拟固体材料燃烧过程。模型建立过程中主要考虑顶板、侧墙、地板、间壁、座椅等主要可燃表面,忽略面积较小对客室火灾发展影响较小的可燃表面。数值模拟所需的材料单位面积热释放速率由锥形量热仪测试得到,在此不再赘述。

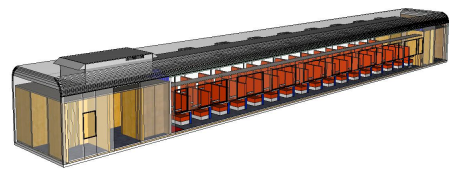


图 4 列车客室火灾数值计算模型

Fig.4 Numerical calculation model of the train compartment fire

高速列车可燃物数量较多、火灾荷载密度较大,而开口一般情况下比较有限(车门),高速列车客室火灾属于典型的受限空间火灾。但高速列车车厢具有数量较多的车窗,玻璃在火灾高温作用下容易破裂脱落形成新的通风开口,玻璃破裂行为对列车客室火灾发展有很大的影响。为正确模拟列车客室火灾的发展过程,本文参考文献[8]将列车车窗破裂温差设置为 600℃。

环境温度取 25℃,网格尺寸参考文献[9]取为 0.05m,计算区域在列车各个方向上外扩 1.5m,如图 5 所示。计算区域四周和顶部设置为压力出口边界,压力取 1 个大气压,以此模拟列车在开敞环境中的燃烧。

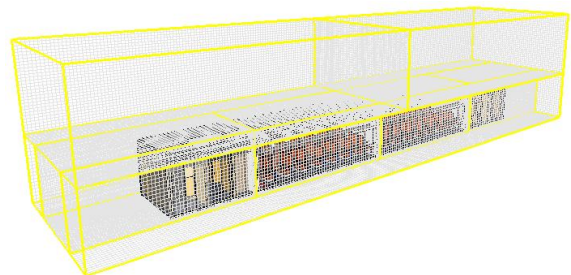


图 5 计算区域设置

Fig.5 Computational domain

沿车厢纵向方向在顶板下方 10cm 高度间隔 1m 布置温度测点记录车厢内火灾热烟气层温度变化。同时, 在火源附近区域顶板下方布置若干温度测点监测火灾发展过程中火源附近上方区域烟气层温度变化情况。

2 计算工况

火源位置和火源功率是影响列车客室火灾发展的非常重要的两个因素。受限腔室中墙角火源是最危险的一种火灾情形, 其原因在于空气卷吸受限形成贴壁火焰导致火焰高度增加进而使烟气层温度增加, 同时贴壁火焰可以快速引燃两面墙上的可燃壁面材料, 大大增强客室内火灾强度。本文将火源设置于一位端侧客室角落地板上, 这也参考了 ISO 9705 标准房间墙角火实验方法。如图 6 所示。

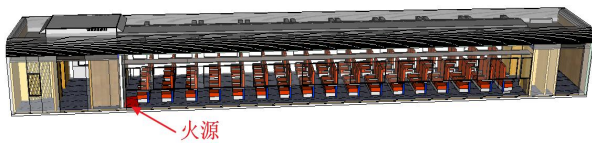


图 6 火源位置示意图

Fig.6 Sketch Map of the fire source position

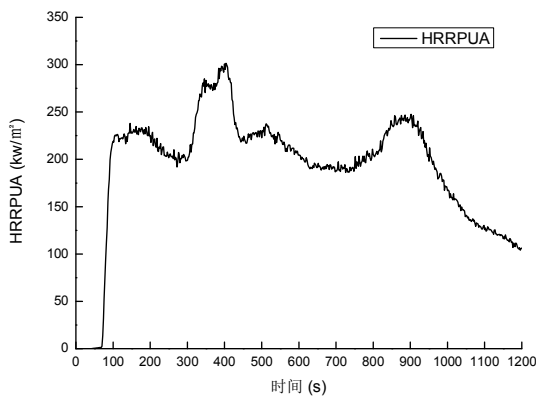


图 7 可燃行李架材料单位面积热释放速率

Fig.7 Heat release rate per unit area of combustible luggage rack

高速列车火灾事故有很大的不确定性, 其发生火灾事故的火源功率也具有很大随机性, 潜在火灾原因可能是行李失火、人为纵火引燃的汽油以及电气故障失火等。欧盟列车防火标准 EN 45545—2013 中对列车防火设计应该考虑的点火模式做出了规定。EN 45545—2013 中第五种点火模式(较大火灾规模)主要模拟人为纵火或者行李失火情形, 该点火模式为 75kW 持续输出两分钟, 然后

150kW 持续输出八分钟^[10]。本文参考 EN45545 标准, 采用输出功率恒定为 150kW 的火源。模拟中开启一侧两个车门, 另外一侧两个车门和两端端门关闭。

本文主要考虑可燃行李架和不可燃行李架两种特定工况。锥形量热仪测试得到的可燃行李架材料单位面积热释放速率如图 7 所示。不可燃行李架工况将行李架设置为 Inert 边界。

3 数值计算结果及分析

3.1 热释放速率计算结果

如图 8 所示为可燃行李架及不可燃行李架两种工况下客室火灾热释放速率曲线。显然, 两种工况下的客室火灾热释放速率曲线存在显著差别。可燃行李架工况火灾热释放速率峰值比不可燃行李架工况大。行李架为可燃材料时热释放速率在 1000s 左右开始快速增长, 火灾热释放速率在 1470s 左右达到最大值 38.4MW。而当行李架为不可燃材料时, 热释放速率增长最慢, 在大约 1200s 时才开始快速增长, 在 1648s 时达到其热释放速率峰值 23.8MW。由此可见, 两种特定火灾工况下客室火灾发展过程也存在着明显的不同。

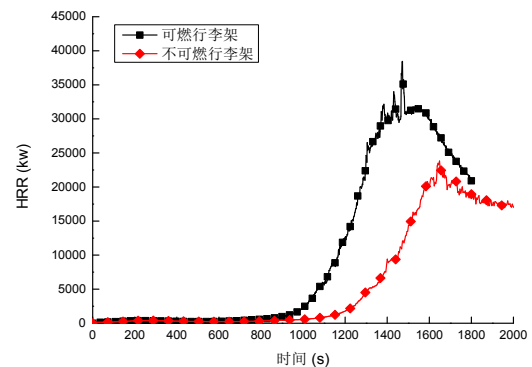


图 8 火灾热释放速率

Fig.8 Fire heat release rate

3.2 火灾发展过程

轰燃是受限空间火灾中的一种特殊火行为, 轰燃的发生往往意味着火灾进入充分发展阶段。目前, 国内外公认的轰燃判据为:

- (1) 腔室上部热烟气层平均温度达到 600℃;
- (2) 腔室地板平面获得的辐射热通量达到 20kW/m²;
- (3) 火焰覆盖顶棚并在开口形成持续喷出火焰。

本文以热烟气层温度达到 600℃为轰燃判定标准。根据数值计算中对客室内热烟气层温度的监测结果，得到两种工况下列车客室不同位置处热烟气层温度达到 600℃时间如图 9 所示，纵坐标距离以车厢一位端侧端墙为原点。图 9 中还给出了拟合直线，拟合直线斜率可以表示为轰燃区域沿车厢纵向方向扩展速度，表征客室火灾蔓延速度的大小。从图 9 中可以看出，不可燃行李架工况各区域轰燃时间晚于可燃行李架工况。可燃行李架和不可燃行李架两种工况下轰燃区域扩展速度分别为 1.9m/min 和 1.4m/min。显然，当采用不可燃行李架时火灾蔓延速度比可燃行李架火灾蔓延速度慢。由此可见，行李架不仅能影响客室火灾发展速度还能影响火灾热释放速率峰值即火灾规模。

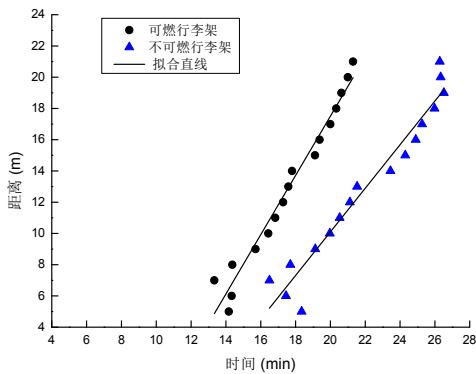


图 9 不同工况客室各位置轰燃发生时间

Fig.9 Time to flashover in different locations in the passenger compartment

虽然可燃行李架单位面积热释放速率峰值达到了 301.5kW/m²，但相对客室内侧墙、顶板、座椅等可燃表面而言，行李架面积要小得多。所以，行李架本身燃烧对客室火灾热释放速率最大值的影响较小，造成图 8 所示不同工况热释放速率峰值差异的原因在于行李架对客室火灾发展过程产生了显著的影响。不可燃行李架工况由于火灾蔓延速度慢，同时参与燃烧的可燃物较少，造成其热释放速率峰值较小。如图 10 所示为火灾充分发展阶段客室温度分布（顶板下方 10cm）。可燃行李架时客室温度分布梯度较小，普遍在 1000℃以上，说明此时客室内燃烧程度普遍较强；而不可燃行李架时客室温度分布梯度要大得多，说明客室不同区域燃烧强弱程度不一致。

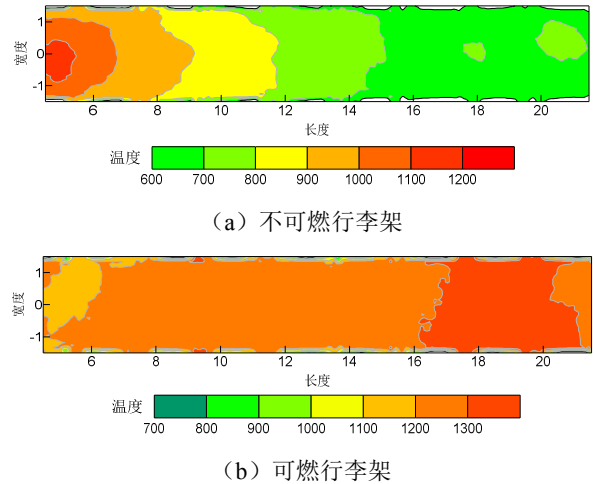


图 10 火灾充分发展阶段客室温度分布

Fig.10 The temperature distribution of the passenger compartment in the stage of full development of fire

3.3 影响原因分析

如图 11 所示为火源附近区域顶板下方烟气平均温度。从图 11 中可以看出，可燃行李架和不可燃行李架工况火源上方区域平均烟气温度虽然在约 500s 以前相差不大，但在 500s 以后二者变化趋势明显不同。可燃行李架工况顶板下方烟气平均温度上升速度比不可燃行李架要快。二者达到 1000℃以上温度时间分别 1050s 和 1354s。

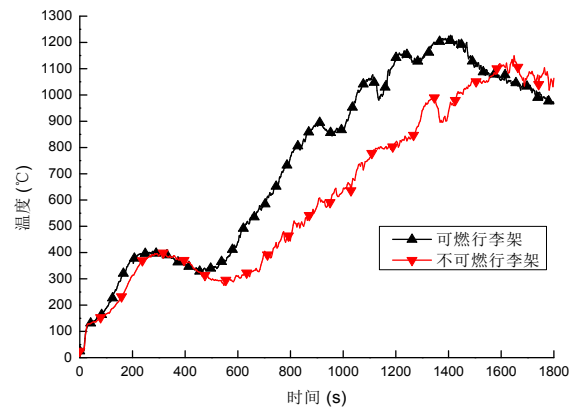


图 11 火源附近热烟气层平均温度

Fig.11 Average temperature of hot smoke layer near the fire source

竖直向上蔓延的火焰受到行李架的阻隔，一定时间内无法继续蔓延至顶板高度，行李架此时的作用类似于建筑中的防火挑檐。火焰会在一段时间内沿着行李架下表面纵向蔓延，显然，采用可燃材料行李架时该纵向蔓延距离远于不可燃行李架。随着火源附近座椅、可燃行李架的燃烧，火源上方烟气

层温度逐渐升高,当火源上方顶板受热温度升高至点燃温度时顶板即被引燃。由于不可燃行李架工况下,火源附近区域燃烧产生的热量相对较少,所以其温度上升较慢。进而影响了顶板被引燃的时间,延缓了火焰在顶板上的传播使得室内燃烧产生热量的减少,造成了火灾发展速度的减慢。

4 结论

本文通过对可燃行李架和不可燃行李架两种特定火灾工况的数值计算,对行李架对高速列车客室火灾发展过程的影响进行了研究,可以得到以下结论:

(1)行李架对高速列车客室火灾有重要影响,不仅能影响火灾发展速度,还能影响热释放速率峰值。

(2)为延缓火灾危险性较大的墙角火发展速度,增强高速列车火灾安全性能,应增强行李架材料的阻燃性能、优化行李架安装结构(保证火灾高温下短时间内行李架与侧墙间无缝隙出现),确保初期火焰难以快速蔓延至客室顶板。

参考文献:

- [1] Beard A N. Fire safety in tunnels[J]. Fire Safety Journal, 2009,44(2):276-278.
- [2] 佚名.电线短路引发——印度列车大火烧死47人[J].广东交通,2012(4):63-63.
- [3] Ingason H, Kumm M, Nilsson D, et al. The METRO project: Final report[R]. SP Report,2012.
- [4] US Department of Commerce, NIST. Fire Safety of Passenger Trains.Phase II: Application of Fire Hazard DOT/FRA/ORD-01/16 Analysis Techniques[J]. Fire Safety Journal, 2002.
- [5] White N. Fire growth on passenger rail interiors[C]. International Conference Fire Safety-Sea Road Rail, 2005.
- [6] Lee D H, Park W H, Hwang J, et al. Full-Scale Fire Test of an Intercity Train Car[J]. Fire Technology, 2016,52(5):1559-1574.
- [7] Braun E. Fire Tests of Amtrak Passenger Rail Vehicle Interiors[J]. National Bureau of Standards Technical Note, 1984.
- [8] 倪天晓.高速铁路隧道列车火灾烟气蔓延规律及控制特性研究[D].长沙:中南大学,2013.
- [9] 王升.高速列车车厢内火灾燃烧特性研究[D].成都:西南交通大学,2017.
- [10] CEN. EN 45545-1:2013,铁路应用设施·轨道车辆的防火第1部分:总则[S].2013.