

基于PyroSim的轨道交通综合实训室火灾模拟与疏散研究

尹莹雪¹ 吴燕¹ 吴卫炜²

(1. 福州职业技术学院,福建省福州市,350108;2. 福建省民政学校,福建省福州市,350001)

摘要 本研究聚焦于轨道交通综合实训室的火灾安全,运用PyroSim软件构建精确火灾模型,深入剖析火灾发展特性。通过模拟不同场景,获取温度、烟雾浓度等关键数据,评估其对人员疏散的影响。结合人员行为特征与疏散算法,制定优化疏散策略,为实训室火灾防控与人员安全保障提供科学依据与技术支持,助力提升轨道交通领域的消防安全水平。

关键词 PyroSim;轨道交通实训室;火灾模拟;人员疏散

中图分类号:V524.3 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2025)02-0039-03

随着轨道交通行业的迅猛发展,轨道交通综合实训室在人才培养与技术研发方面的重要性日益凸显。然而,其内部复杂的电气设备、实验材料以及相对密集的人员活动,使得火灾隐患成为不容忽视的安全挑战^[1]。火灾一旦发生,不仅会对实训室的珍贵设备与设施造成毁灭性打击,更严重威胁着人员的生命安全。PyroSim软件作为火灾模拟领域的先进工具,对在轨道交通综合实训室火灾模拟与疏散上的应用进行研究具有重要的意义。

1 PyroSim软件概述及建模原理

1.1 PyroSim软件功能与特点

PyroSim作为一款在火灾模拟领域广泛应用且极具专业性的软件,其拥有极为强大的图形化界面。借助这一界面,即使是面对结构极为复杂、布局精细的建筑模型,使用者也能够轻松且高效地进行创建操作^[2]。其内置的多种先进火灾模型更是软件的核心优势所在,其中基于区域模型的CFAST以及基于场模型的FDS,它们能够依据严谨

的物理原理与复杂的数学算法,极为精确地模拟火灾发生时所涉及的热传递现象。在燃烧反应方面,无论是常见燃料还是特殊材料的燃烧过程,都能够被精准地刻画呈现。而对于烟气流动这一在火灾中对人员安全和火势蔓延有着关键影响的要素,软件同样能够进行细致入微的模拟,充分考虑到各种因素对烟气扩散路径、速度以及浓度分布的作用。并且,软件具备高度的灵活性与适应性,使用者可以根据实际的模拟需求,自由地设置多种多样的火源类型,无论是明火源、电气火源还是其他特殊火源都能得以模拟。

1.2 建模过程

在针对轨道交通综合实训室开展建模工作时,首要的关键步骤便是依据详尽且精准的建筑图纸,对实训室的空间尺寸进行精确测量与确定,这其中涵盖了长、宽、高的具体数值以及各个空间区域的划分情况。对于墙体结构,要明确其厚度、材质以及构造形式,因为这些因素在火灾发生时会对热量传递和烟气阻隔产生重要影响。门窗位置的确定同样不容忽视,其大小、开启方向以及与其他空间的连通关系都将在火灾模拟中扮演关键角色。利用PyroSim所提供的专业建模工具,将这些几何信息逐一转化为三维实体模型,确保模型的准确性与真实性。通过深入研究实训室内部设备以及装饰材料等的燃烧特性成为建模过程中的重要环节。通过查阅大量的专业资料、实验数据以及相关标准规范,为相应的模型组件赋予精准的材料参数。例

基金项目:2023年福建省中青年教育科研项目(基于PyroSim的综合实训室火灾模拟与疏散研究,编号:JAT231240)。

作者简介:尹莹雪(1992~),女,汉族,河北衡水人,本科,实验师,研究方向:轨道交通实训室管理。

如,对于各类电气设备,依据其功率、电路结构以及外壳材质确定热释放率,考虑其散热性能设定导热系数,根据内部元件的燃烧性能评估燃烧热值。对于装饰材料,如墙面涂料、天花板吊顶材料以及地面铺设材料等,按照其成分组成、防火等级等确定各项材料参数。这些准确的材料参数设置将为后续火灾模拟的真实性与可靠性奠定坚实基础。

2 轨道交通综合实训室火灾模拟分析

2.1 火灾场景设定

在考虑轨道交通综合实训室常见的火灾引发因素时,电气故障是最主要的因素之一。由于实训室中各类电气设备众多,如复杂的电路系统、高功率的实验仪器等,长时间运行或存在线路老化、过载等问题时,极易引发小规模电气火灾。此外,易燃材料燃烧也是火灾发展的重要因素之一,一些用于教学演示或实验操作的化学试剂、易燃的装饰材料以及部分纸质资料等,一旦遇到明火或高温源,便可能引发较大规模的火灾。基于此,可设置多种火源位置和强度的模拟场景。例如,精准模拟在电气设备高度密集且功率较大的中央控制区域发生小规模电气火灾的情形,该区域众多的电器元件和复杂的线路布局使得火灾发生后火势发展具有独特的规律。同时,针对存放有大量易燃实验材料且通风条件相对有限的仓库区域,模拟发生较大规模火灾的状况,这种场景下火灾的蔓延速度、热量释放以及烟气产生量都呈现出不同的特点,以便全面深入地研究实训室在不同火灾风险情况下的应对策略。

2.2 火灾发展过程模拟结果

借助PyroSim软件进行模拟运行后,成功获取了不同场景下火灾发展过程的详细数据。在火灾刚发生的初期阶段,火势尚处于起始状态,此时由于可燃烧物质的范围相对有限且燃烧条件尚未达到最优,火势蔓延速度较为缓慢^[3]。然而,随着时间的逐步推移,燃烧反应逐渐加剧,热释放率开始呈现出明显的逐渐增大趋势,火焰温度也随之迅速攀升。与此同时,高温烟气作为火灾的重要产物开始向四周扩散开来。在较大规模火灾场景的模拟中,尤其是在那些空间相对高大宽敞的实训室区域,由于热浮力的显著作用,烟气会以较快的速度迅速上升并在顶部大量积聚。随后,在通风系统所产生的

气流影响下,这些积聚在顶部的高温烟气开始向其他区域蔓延,逐渐形成了极为复杂的烟气流场。从模拟结果来看,令人担忧的是,火灾发生后的极短时间内,在火源附近以及火势蔓延方向上的部分区域,其温度便能够快速超过人体耐受极限。而且,烟雾浓度几乎同步快速上升,在一些关键的疏散通道和人员活动区域,严重影响人员的视线,使人难以辨别方向,同时也极大地威胁着人员的呼吸安全,给人员疏散工作带来了巨大的挑战。

2.3 火灾参数分析

2.3.1 温度分布

在火灾发生的初始阶段,高温区域紧紧围绕在火源附近,形成一个相对集中的高温核心区域。随着火灾的持续发展,热量以热传导、热对流以及热辐射等多种方式向周围空间不断扩散。在火灾发展到特定阶段后,原本远离火源的一些重要通道,如连接各个功能区域的走廊通道,以及疏散出口附近区域的温度也可能会逐渐升高至危险程度。例如,在一次模拟的大规模火灾场景中,经过精确的模拟数据记录与分析,在火灾发生后的10min后,距离火源15m处的一条主要通道温度达到了80℃,而人体在短时间内能够耐受的温度通常为60℃左右,这一情况表明该通道在此时已处于极度危险的状态,对人员的疏散构成了极为严重的威胁,人员若在此时通过该通道,极有可能遭受高温灼伤甚至危及生命。

2.3.2 烟雾浓度分布

烟雾浓度在整个火灾过程中始终是影响人员疏散的最为关键的因素之一。从模拟结果详细分析来看,在火灾初期,烟雾由于火源的热浮力作用,主要集中在火源正上方的局部空间范围内,呈现出一种较为集中的状态。随着时间的流逝以及火灾现场气流的作用,烟雾开始逐渐突破最初的局限区域,缓慢地向整个空间扩散开来。在一些通风条件不良的特定区域,如位于实训室角落位置且通风口较少的小型设备间或者是内部布局较为复杂、通道狭窄的实验操作区域,烟雾浓度会在短时间内迅速上升。

3 基于模拟结果的人员疏散研究

3.1 人员疏散模型构建

为了更精准地研究轨道交通综合实训室火灾

发生时人员的疏散情况,应充分结合PyroSim软件所提供的详实模拟数据,选用Pathfinder软件构建人员疏散模型^[4]。首先,将构建的轨道交通综合实训室的建筑模型导入到Pathfinder软件当中,以此为基础搭建起与实际场景高度契合的疏散模拟环境。依据对该实训室日常人员活动情况的细致调研以及实际人员分布的统计数据,设置人员初始位置、数量和行动速度等各项关键参数。例如,根据不同功能区域的使用频率和人员聚集程度,确定在实验操作区、设备维护区、教学讲解区等各个区域的人员具体分布数量;参考不同年龄段、性别以及身体状况等因素对人员行动速度的影响,合理设定各类人员的平均行动速度值。

3.2 疏散策略分析

3.2.1 不同疏散路径对比

通过利用所构建的人员疏散模型,细致模拟不同疏散路径下人员的疏散过程,全面比较疏散时间、人员拥堵情况等一系列重要指标,以此来深入探究不同疏散路径对整体疏散效率的影响。例如,针对从不同出口疏散以及充分利用内部通道进行疏散这两种常见的疏散方式,展开了详细的对比分析。在模拟从不同出口疏散的情况时,考虑到实训室各个出口的位置、宽度、周边环境以及与人员初始位置的相对距离等因素。

在模拟内部通道疏散时,着重分析了不同内部通道的长度、宽度、通风条件以及与火源和烟雾分布的相对关系等因素。例如,有些内部通道虽然距离较短,但可能会经过烟雾浓度较高的区域,人员在通过时会受到烟雾的严重干扰,导致行动速度大幅降低;相反,有些通道虽然稍长一些,但沿途烟雾浓度较低,人员能够相对顺畅地通过。在某一场景模拟中,经过精确对比分析发现,当选择经过烟雾浓度较低且距离相对较短的疏散路径时,相较于随机选择其他路径疏散,可使整体疏散时间显著缩短20%左右,这充分说明了合理规划疏散路径对于提高疏散效率的重要性。

3.2.2 疏散指示与引导作用

通过在模拟中设置不同的疏散指示情况以及人员引导场景,来观察和分析它们对疏散效率的影响。在设置不同的疏散指示情况时,将清晰明确的指示标志与部分损坏或模糊的指示标志进行鲜明对比^[5]。当设置为清晰明确的指示标志时,这些指示标志能够在火灾发生后的复杂环境下,清晰地为人指明疏散方向,使人员能够快速确定自己应该前往的方向,从而有效提高人员疏散速度。通过模拟发现,在人员引导下,疏散秩序得到了极为有效的改善,人员能够更加有序地按照引导方向进行疏散,避免了人员之间的相互拥挤和混乱,从而进一步提高了疏散效率,使得整体疏散时间相较于没有人员引导的情况能够再次缩短15%。

4 结语

本研究利用PyroSim软件对轨道交通综合实训室火灾进行了全面模拟分析,深入了解了火灾发展过程中的温度、烟雾浓度等关键参数的变化规律。基于模拟结果开展的人员疏散研究,提出了优化的疏散策略,包括合理规划疏散路径和加强疏散指示与引导等措施,为提升实训室的火灾应急处置能力和人员安全保障水平提供了科学依据。未来研究可进一步考虑更复杂的火灾场景,如多种火源同时发生、火灾与爆炸复合灾害等情况,以提高模拟的全面性和准确性。

参考文献

- [1] 孙鹏,李娜,王瑞,等.基于Pyrosim的楼梯间火灾烟气数值模拟与分析[J].建材技术与应用,2024(4):31-36.
- [2] 谢欣,吕辉,滕黛洁,等.基于Pathfinder和虚拟现实的民用机库应急疏散仿真[J].科学技术与工程,2024,24(22):9664-9671.
- [3] 郑文慧,赵伶俐,徐姗,等.基于数值模拟的安检大厅人员火灾疏散仿真[J].计算机仿真,2024,41(8):557-561.
- [4] 邓阳阳,翟若岱,刘占宁,等.基于PyroSim的单向公路隧道局部抽烟设计与通风方案优化[J].科技与创新,2024(20):27-32.
- [5] 李瑞卿,刘彦青,郑义,等.细水雾抑制矿井倾斜巷道火灾数值模拟研究[J].能源与环保,2024,46(9):89-94.