

基于多层立体车位的停车楼自动喷水系统设计与优化研究

文 / 周健舟 广西壮族自治区建筑科学研究设计院

摘要: 本文围绕设置多层立体车位的停车楼自动喷水系统展开研究, 首先探讨了自动喷水系统的基本原理及其在设置多层立体车位的停车楼中的应用, 并分析了系统设计的需求及其对火灾特性的响应。通过计算流体动力学(CFD)模拟, 本文对不同喷头布局方案进行了模拟与比较, 确定了最优布局方案, 并针对管网系统进行了压力损失分析与结构优化设计。研究结果表明, 通过合理优化系统布局与设备选型, 可以有效提升喷水系统的灭火效率与响应速度, 同时降低系统的建设成本与维护需求。本研究为多层立体车位停车楼的消防安全设计提供了科学依据和实践指导。

关键词: 多层立体车位; 自动喷水系统; 管网系统优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.126

引言

设置多层立体车位的停车楼因其高效利用空间的优势, 逐渐成为城市停车场建设的首选。然而, 多层立体车位的复杂结构和密集的车位布局, 增加了火灾风险, 给停车楼的消防设计带来了巨大挑战。自动喷水系统作为一种有效的消防措施, 广泛应用于各类建筑的火灾防护中, 但在设置多层立体车位的停车楼中, 如何实现高效的喷水覆盖和快速的火灾响应, 仍然是亟待解决的问题。

一、多层立体车位的停车楼自动喷水系统理论基础

(一) 自动喷水系统的基本原理

1. 自动喷水系统的工作机制

自动喷水系统是一种主动式灭火设备, 广泛应用于各种建筑物中以提高消防安全。其核心工作机制在于, 当火灾发生时, 系统中的温感元件感受到温度的升高, 触发喷头的开启, 释放水流对火源进行控制和扑灭。自动喷水系统通过喷头、管网、报警阀、供水设施等关键组件协同作用, 实现火灾早期的自动探测和控制。喷头通常配备易熔元件或玻璃球, 当周围温度达到预定的启动温度时, 元件熔化或玻璃球破裂, 使水流通过喷头进行喷洒。喷洒的水流在扑灭火焰的同时, 还可以通过降低环境温度和抑制烟雾扩散, 防止火灾蔓延^[1]。

2. 相关技术标准与规范

自动喷水系统的设计与安装必须严格遵循相关的技术标准与规范, 以确保其安全性与有效性。国际上, 自动喷水系统的设计规范主要参考《固定式灭火系统—自动喷水灭火系统—设计, 安装和维护》(BS EN12845) 等文件。这些标准规定了喷水系统的设计参数, 包括喷头的类型、喷洒密度、覆盖面积、供水压力、管道布置等, 同时还涉及系统的检测与维护要求。国内也有相关的规范, 如《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084) 和《建筑设计防火规范》(GB 50016), 这些标准不仅涵盖了系统的技术要求, 还规定了不同类型建筑物的适用范围和设计条件^[2]。

(二) 多层立体车位的结构特点

1. 多层立体车位的建筑结构分析

停车楼中设置多层立体车位作为一种高效利用空间的停车解决方案, 其建筑结构具有显著的特点。停车楼通常采用钢结构或钢筋混凝土结构, 以提供足够的承载力和抗震性能。由于车位的密集排列, 多层结构在设计时需要考虑车辆的荷载分布、结构的稳定性以及层间的高度限制。停车楼的通道设计须兼顾车辆的通行便捷性和停车效率, 常见的设计方案包括螺旋式坡道、直线式坡道以及升降机系统等。多层立体车位的通风和排烟系统是特别需要关注的地方, 确保在火灾或其他紧急情况下能迅速排出有害气体。建筑材料的选择方面, 通常会优先选用防火性能良好的材料, 外墙和内饰材料也需满足相关防火规范^[3]。

2. 火灾风险评估与特点

多层立体车位因其结构的复杂性和车辆密集性, 具有独特的火灾风险。由于车辆燃料及其可燃材料的存在, 一旦发生火灾, 火势可能迅速蔓延, 且高温容易引发爆炸或进一步扩大火灾规模。火灾的烟雾扩散速度快、能见度低, 使得人员疏散和救援工作难度增加。由于多层结构的空间限制和通风条件不佳, 火灾发生后, 浓烟和有毒气体可能在楼层间迅速积聚, 增加了火灾的危险性和灭火工作的难度^[4]。

二、停车楼自动喷水系统的设计

(一) 设计需求分析

1. 停车楼火灾特性分析

停车楼的火灾特性具有显著的独特性, 分析这些特性是设计有效自动喷水系统的关键。停车楼内的火灾风险主要源于存放的车辆, 这些车辆携带着大量的可燃物质, 如汽油、机油、橡胶轮胎和塑料部件等。当火灾发生时, 这些可燃物质会迅速燃烧, 产生高温和大量浓烟。由于停车楼的空间通常较为封闭, 且层高有限, 火灾在短时间内导致内部空间温度急剧上升, 增加了火势蔓延的速度。对于多层立体车位停车楼, 由于其垂直空间的特殊性, 火灾从一层迅速蔓延至其他楼层, 形成立

体火灾的高风险情境。在设计自动喷水系统时，必须充分考虑这些特性，以确保系统能够迅速响应并有效遏制火势^[5]。新能源汽车的普及，给停车楼的自动喷水消防系统设计带来了新的挑战和考虑因素。除了传统汽车会携带的可燃物质外，新能源汽车使用大容量锂电池，发生火灾时可能引发热失控。设计消防系统时，需要更高效或特殊的喷头来应对锂电池火灾。

2. 自动喷水系统设计的基本要求

系统设计应确保足够的喷水覆盖范围，以适应停车楼的多层立体结构，并能够应对可能的立体火灾蔓延。喷头的布置需根据车辆的停放位置、建筑物的平面布局和结构特点进行合理安排。喷水强度和密度应根据火灾可能的发展速度和燃烧物质的性质进行优化，确保在火灾初期能够提供足够的水量来控制火势。供水系统的设计须保证稳定且足够的水压，以支持多层建筑中喷水系统的正常运行。自动喷水系统还需具备高灵敏度的火灾探测能力，确保能够在火灾早期阶段迅速启动，减少火灾蔓延的风险^[6]。

(二) 系统布局与设备选型

1. 喷头布置与喷洒密度设计

由于停车楼内车辆密集、空间复杂，喷头的布置必须确保水流能够有效覆盖所有潜在火源区域。喷头的布置应根据停车楼的平面布局和结构特点，结合车辆停放位置、通道和障碍物分布，进行科学合理的安排。设置有立体停车位的停车楼在喷头布置时，除需要根据停车楼的平面布局和结构特点布置外，还需要根据立体停车位的结构形式、运行方式等合理布置喷头。喷洒密度的设计应考虑火灾的特性，包括火源种类和火灾发展速度。喷洒密度直接影响灭火的水流量和覆盖强度，需在满足消防规范要求的基础上，根据停车楼的具体情况进一步优化。设计时需平衡系统的反应速度和水资源的有效利用。

2. 管网系统设计与计算

管道的布局应确保水流能够快速、稳定地输送至各个喷头位置，避免由于管道布置不合理导致的水压损失或供水延迟。管道走向设计需结合停车楼的建筑结构，尽量减少弯头和分支管道的数量，以降低水流阻力。在高层建筑和多层立体车位结构中，供水压力需经过精确计算，以保证各楼层喷头的正常工作。为了提高系统的可靠性，管网系统还应设计一定的冗余，如双回路供水或备用水源，以应对可能的故障或供水中断情况。

(三) 系统控制与监测

1. 自动控制系统设计

自动控制系统的主要功能在于，在探测到火灾时，能够立即触发喷水系统的启动，并控制水流的分配和喷洒过程。控制系统需要集成火灾探测器、温感器、烟雾探测器等多种传感设备，以实现火灾发生的早期检测。这些传感器通过采集环境参数，并将数据传输至中央控制单元，中央控制单元对数据进行实时分析和处理，判断是否启动喷水系统。自动控制系统还应与建筑的整体消防系统相兼容，确保在火灾发生时，喷水系统

能够与其他消防措施，如排烟系统、火灾报警系统等，协同作业，形成全面的消防防护体系。

2. 系统监测与报警方案

系统监测方案应确保对自动喷水系统的关键参数进行实时监控，包括管网压力、供水流量、喷头状态以及传感器的运行情况等。这些监测数据通过传感器采集后，实时传输至中央控制系统，并通过数据分析和处理，确保系统处于正常运行状态。当监测系统检测到异常情况，如管道漏水、压力不足或喷头故障时，系统应及时发出警报，并采取相应的应对措施，以防止潜在的故障扩大或延误灭火时机。报警方案的设计应具备高度的灵敏性和可靠性，在火灾发生的初期，系统应能够立即触发声光报警装置，并通过多种通信手段，将火灾信息传递至消防控制室、相关管理人员以及消防部门。

三、自动喷水系统的优化设计

(一) 优化目标与指标

1. 提升灭火效率与系统响应速度

在自动喷水系统的优化设计中，提升灭火效率与系统响应速度是核心目标。这一优化目标旨在通过改进系统的设计与配置，使系统在火灾初期能够快速、有效地控制火势，减少火灾对停车楼造成的损害。为了实现这一目标，需要在多个方面进行优化，包括提高喷头的敏感度和响应速度、优化喷洒密度与水流分配，以及加强自动控制系统的智能化水平。如在含有立体停车位的停车楼中，常在立体停车位处采用设置集热板的快速响应喷头，提高自动喷水灭火系统的响应速度。通过这些措施，系统能够在探测到火灾后，迅速启动并精准控制喷水过程，有效覆盖火源并抑制火势蔓延。同时，还需优化系统的整体设计布局，确保管网系统的供水压力和流量能够满足火灾初期的高效灭火需求。

2. 降低系统成本与维护需求

在自动喷水系统的优化设计中，降低系统成本与维护需求同样是不可忽视的重要目标。降低成本不仅包括初始的设备采购与安装费用，还涉及系统的长期运行与维护成本。为实现这一目标，首先需要在设备选型与配置上进行优化，选用性价比高、运行稳定的设备，以减少不必要的支出。系统的设计应注重简化管网布局与控制系统，以降低施工难度和材料成本。在维护方面，应选择耐用、易维护的关键设备，并合理安排系统的检修周期，减少因设备故障导致的维护频率与费用。通过精心设计与合理优化，既可以确保系统的高效运行，又能够显著降低整个生命周期内的总成本，实现经济性与安全性的平衡。

(二) 基于 CFD 的火灾模拟分析

1. 火灾场景设置与模拟方法

通过火灾场景的合理设置与精确的模拟方法，可以深入理解火灾在不同环境下的发展规律，以及自动喷水系统在实际应用中的灭火效果。在进行火灾模拟时，根据停车楼的建筑结构、车辆布局以及潜在的火源位置，设定多个具有代表性的火灾场景。每个场景的设定应

考虑不同的火灾类型、燃烧物质及火灾规模，以全面评估系统的应对能力。运用CFD模拟方法，模拟火灾发生后的烟雾扩散、温度变化和火焰蔓延情况，通过分析这些动态数据，了解火灾在不同时间节点的变化趋势。同时，通过模拟自动喷水系统的启动过程，观察喷水对火灾发展的实际影响，从而为系统的优化设计提供科学依据。

2. 喷水系统对火灾发展的影响分析

基于CFD的火灾模拟分析，不仅可以呈现火灾的动态发展过程，还能够深入探讨自动喷水系统对火灾的影响机制。通过模拟分析，研究喷水系统在火灾不同发展阶段的作用，包括系统启动前后火势的变化、水流对火焰的抑制效果、烟雾浓度的降低以及温度场的变化等。这些模拟结果有助于评估系统的灭火效率与覆盖范围，从而识别出系统设计中的潜在问题。例如，若模拟结果显示某些区域灭火效果不佳，则需考虑在规范要求的合理范围内，在这些区域增加喷头或调整喷洒密度。通过系统的优化调整，最大限度地提升喷水系统在实际火灾中的表现，确保其在关键时刻发挥最佳作用。

（三）喷头布局优化

1. 不同布局方案的模拟与比较

在自动喷水系统的设计过程中，喷头的布局直接影响到整个系统的灭火效率与覆盖范围。因此，对不同喷头布局方案进行模拟与比较是优化设计的重要环节。根据停车楼的建筑结构和火灾风险分布，设计出多种具有代表性的喷头布局方案。这些方案应考虑到车位的密集程度、车流方向以及火灾可能发生的热点区域等因素。在模拟过程中，运用计算流体动力学（CFD）技术，分析不同布局方案在火灾发生时的喷水覆盖范围、喷水强度以及对火势的抑制效果。通过对比各方案在模拟火灾中的表现，评估不同布局对灭火效率的影响程度，并确定哪些布局在特定火灾场景下能够提供最佳的防护效果。

2. 最优布局方案的确定

在对不同喷头布局方案进行模拟与比较的基础上，确定最优布局方案是确保自动喷水系统能够在实际应用中发挥最佳效果的关键步骤。最优布局方案的确定不仅需要综合考虑灭火效率、覆盖范围和水资源利用效率，还需关注施工难度、维护便捷性等实际操作因素。通过将模拟结果与实际应用需求相结合，可以筛选出在各方面表现最优的布局方案。该方案应能够在最大限度覆盖火灾风险区域的同时，确保喷水强度和水流分配的均衡，以达到迅速抑制火势、减少火灾损失的目的。最优布局方案还需具备较高的适应性，能够在不同火灾场景下都表现出稳定的灭火效果。

（四）管网系统优化

1. 管网压力损失分析

管网系统是自动喷水系统的核心部分，其压力损失对喷水强度和系统的整体灭火能力有着直接的影响。进行管网压力损失分析是优化设计的必要步骤。在分析过

程中，需要对管网的布置、管径大小、管道长度以及连接方式进行详细的计算，评估这些因素对压力损失的具体影响。通过建立管网模型，运用流体力学理论，计算管道中的水流速度、摩擦阻力以及局部阻力损失等参数，以确定管网各段的压力损失情况。重点分析管网的关键节点和高阻力区域，找出可能导致系统压力不稳定的薄弱环节。通过这些详细的压力损失分析，可以识别出现有设计中的潜在问题，为后续的管网结构优化提供数据支持，确保系统在火灾发生时，能够保持稳定的喷水压力，保障灭火效果的持续性。

2. 管网结构优化与材料选择

在进行管网压力损失分析后，管网结构的优化与材料选择是确保自动喷水系统高效运行的重要措施。管网结构优化应根据压力损失分析结果，对管道的布置方式、管径选择、管道分支等进行调整，以减少不必要的压力损失，提高系统的整体供水效率。例如，通过缩短管道长度、增加管径或优化管道布局，可以有效减少管道系统的水头损失，从而保持系统的稳定压力。管道材料的选择也对管网的耐久性与维护需求产生直接影响。在材料选择过程中，应综合考虑耐腐蚀性、耐高温性以及材料的强度与刚性等因素，以确保管网在复杂的火灾环境下依然能够稳定运行。

总结

本研究通过对多层立体车位停车楼自动喷水系统的设计与优化研究，提出了一套科学的优化方案，涵盖了从喷头布局、管网设计到系统控制与监测的全面优化措施。研究表明，合理的系统布局和设备选型，不仅能够有效提升灭火效率和系统响应速度，还能降低系统的建设成本和维护需求。然而，研究也存在一定的不足之处，例如在实际火灾场景中的验证测试相对有限，未来的研究应进一步结合实地测试与更复杂的火灾模拟，以验证系统在不同火灾条件下的实际性能。

参考文献

- [1] 岑薇. 机械式停车库自动喷水灭火系统设计[J]. 住宅与房地产, 2018, (02): 32-33.
- [2] 魏静. 《建筑设计防火规范》GB50016-2014(2018年版)与《城镇燃气设计规范》GB50028-2006(2020年版)中与民用建筑相关条文解析[C]. 中国燃气运营与安全研讨会(第十一届)暨中国土木工程学会燃气分会2021年学术年会, 2021.
- [3] 郭毓华. 多层机械式立体停车库设计[J]. 机电工程技术, 2020, (08): 240-242.
- [4] 廖松林. 多层立体停车设施提升机构立桅的稳定性研究与结构优化[D]. 哈尔滨理工大学, 2019(08).
- [5] 夏宗佑, 周陈林, 牟方才, 李军. 小型多层无避让式立体停车库的设计[J]. 装备机械, 2018, (02): 5-9.
- [6] 姚彬, 丰慧霞, 王博弘, 黎志敏, 梁永图, 李焯超. 注水管网拓扑结构与管径优化[J]. 给水排水, 2021, (11): 144-148.