

某交通枢纽站地下停车场热环境问题浅析

连仕康¹ 于海燕² 廖友才¹

1. 中国铁路设计集团有限公司, 中国·天津 300000
2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 中国·天津 300000

摘要: 当前多数交通枢纽的地下车库仍按照汽车库规范进行通风设计, 主要关注尾气污染物稀释, 而缺乏对热环境的控制要求。由于大量车辆怠速等候, 夏季常出现高温、高湿及热量积聚现象。本文基于某大型交通枢纽地下车库, 通过 Airpak 进行 CFD 模拟研究, 分析出租车道及停车区的热环境特性, 并提出优化方案, 包括顶部送排风、提升换气次数及设置隔断改善候车区热舒适性。研究结果可为交通枢纽地下车库的环控系统提供设计参考。

关键词: 地下车库; 热环境; 机械通风; CFD 模拟; 交通枢纽

A Preliminary Analysis of Thermal Environment Issues in the Underground Parking Lot of a Transportation Hub

Lian Shikang¹, Yu Haiyan², Liao Youcai¹

1. China Railway Design Group Co., Ltd., China Tianjin 300000
2. China Municipal Engineering North China Design and Research Institute Co., Ltd., China Tianjin 300000

Abstract: Underground parking facilities in large transportation hubs frequently experience elevated temperatures and degraded air quality due to continuous idling of taxis and private vehicles. Conventional mechanical ventilation systems designed according to automobile garage codes primarily target pollutant dilution and generally do not include explicit thermal control requirements. This study investigates the thermal environment of an underground taxi lane and parking area using CFD simulation with Airpak. Results indicate that the original side-supply/side-exhaust system generates significant thermal stratification and localized overheating. An optimized strategy—top-supply/top-exhaust diffusers, increased air change rate from 6 to 10 ACH, and zoning separation—effectively reduces overheating and improves uniformity. The findings support environmental control design for similar facilities.

Keywords: Underground parking; Thermal environment; Mechanical ventilation; CFD simulation; Transportation hub

0 引言

随着综合交通枢纽规模的不断扩大, 地下空间在交通组织、车辆周转及乘客集散中的作用愈发关键。相比普通商业或住宅建筑的地下车库, 交通枢纽的地下车库具有车辆密度高、怠速时间长、热污染源集中等特点, 热负荷远超常规场景。夏季高温条件下, 车库内部易形成温度分层及热量堆积, 局部区域温度甚至可比室外高出 8-12°C, 不仅影响旅客候车体验, 也加剧运营能源消耗及安全风险^[1]。

本文以某大型交通枢纽站地下车库为例, 通过 Airpak 建立三维 CFD 模型, 对现状侧送侧排风系统的温度场特征进行分析, 识别造成热积聚的关键气流路径, 并提出顶部送排风和提升换气次数的优化策略。通过模拟对比验证其有效性, 为大型交通枢纽地下车库提出可复制的环控设计思路。

1 工程概况

研究对象为某大型交通枢纽站的地下停车场, 该车库

位于站房两侧, 采用两层结构, 内部功能包括旅客候车区、出租车通道及社会车辆停车区。车库两端设有通向室外的进出通道, 其平面布置如图 1 所示。车库内车辆周转频繁, 出租车怠速等候现象普遍, 使得地下空间热量及尾气排放负荷显著。

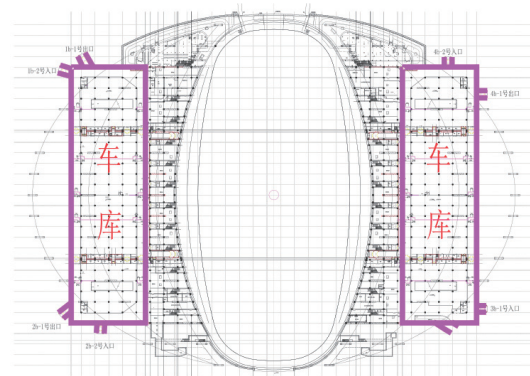


图1 车库平面布置图

2 地下车库通风设计情况及存在问题

库采用机械通风系统，设计换气次数为 6 次 /h。受层高限制，通风方式主要为侧送、侧排或顶送、侧排，送风口集中布置于机房附近，而排风口设置于排风机房侧墙。气流组织呈横向流动，平面布置见图 2。

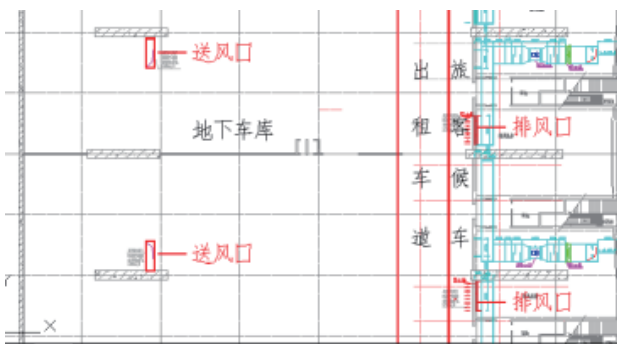


图2 原车库送回风系统平面图

由于客流量巨大，出租车与社会车辆在车库内频繁怠速等候，造成大量热量和有害尾气排放，同时旅客候车区紧邻出租车道，热环境和空气品质问题尤为突出。主要表现为：

- (1) 温度沿车库横向分布不均，排风侧温度显著高于送风侧；
- (2) 热空气上浮并在顶棚附近堆积，排出效率低；
- (3) 夏季高峰期温度远高于室外，导致旅客舒适性明显降低。

3 地下车库热环境模拟及问题解决方式

为深入分析车库热环境问题，本文选取车库出租车道与停车区为研究对象，通过 Airpak 软件建立 CFD 模型，模拟不同室外温度与通风配置条件下的温度场与空气流动特性。

3.1 模型基础参数

3.1.1 车辆怠速排热特性

车库内车辆包括燃油车及新能源汽车，其排放热量差异较大。为便于对比，选取市场保有量较高的 1.5 L 燃油车作为研究原型，其怠速散热量约为 8 kW，该数据作为模拟边界条件。

3.1.2 改造前车库模型建立

以车库负一层左侧区域为研究对象，尺寸为长 250 m、宽 77 m，高 3.4 m。本研究选取其中两个相邻送排风区（面积 77 m × 40 m）进行模拟。该区域包含停车位 51 个，出站车道车辆 8 辆，均按最不利工况（全部怠速）考虑。模型如图 3。

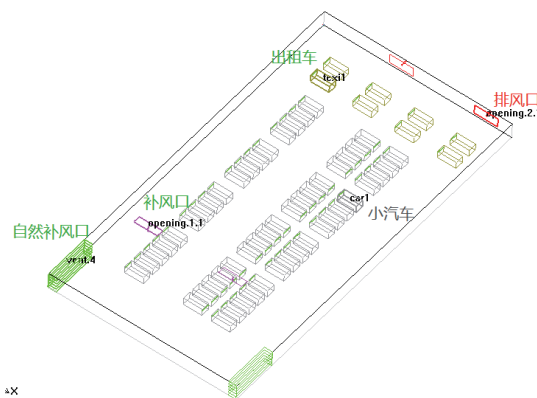


图3 改造前车库模型

3.1.3 改造前通风条件模拟结果

在换气次数 6 次 /h、室外空气温度分别为 25° C、30° C、35° C 的条件下模拟温度场。车库通风换气次数按 6 次 /h 进行计算，车库换气量为 $77 \times 40 \times 3.4 \times 6 = 62832 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

图 4 从左至右分别为当室外通风温度 25、30、35 度时的室内温度场模拟情况。分别从模拟结果可以发现，在一侧送风，另一侧排风的情况下，车库的温度场呈现出一边偏的现象，送风口侧温度明显低于排风口侧，特别是在旅客乘坐出租车的出租车道及旅客候车区温度最高。在库内空气往排风口排出的过程，由于热空气上浮，使得大量的热气在车库的上方堆积，不能及时排出，严重影响乘客的候车舒适性^[2]。

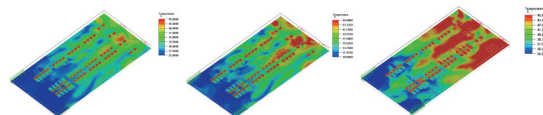


图4 通风温度25°、30°、35°时停车场温度场平面

车库内由于汽车尾气散热量大，使得停车场在送风温度 25° 时，停车场出租车道及大部分停车场温度达到了 35°；在送风温度 30° 时，停车场出租车道及大部分停车场温度达到了 39°；在送风温度 35° 时，停车场出租车道及大部分停车场温度达到了 45°。也就是车库内温度要比室外温度高近 10°，车库经常处于高温状态。

为了解决车库温度过高，特别是出租车道及旅客候车区的重要区域的高位情况，对车库的通风系统提出以下改造方案：

- (1) 为了解决库内温度场不均匀，排风口侧温度偏高及库内热气在车库上方堆积的情况，现将一侧送风另一侧排风的换气方式改为上送上排，并将送排风口均与布置于车库上方^[3]。

(2) 由于室外空气温度一般高于库内温度，为了降低车库的整体温度，更快的排出库内的汽车尾气，并结合已有的送排风风道条件，现将车库的通风换气次数由原来的6次/h，增加到10次/h。即增大通风风量以改善库内温度及空气品质。改造后通风系统平面布置如图5。

(3) 在出租车道旁设置隔断，将旅客候车区与出租车道隔离开，形成独立的区域，并设置空调，保证候车区旅客的舒适性。

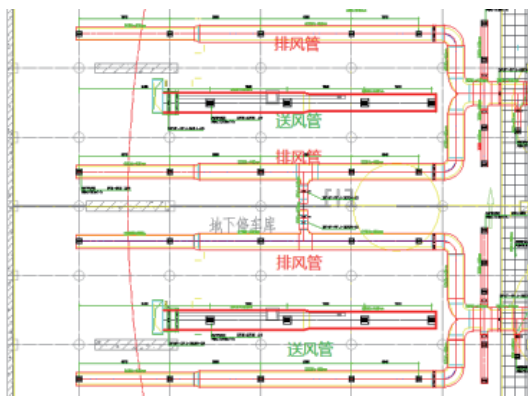


图5 改造后通风系统平面图

3.1.4 改造后车库几何模型的建立

改造后的车库模型取消了原送排风口，增加了顶部的送排风管道及风口。

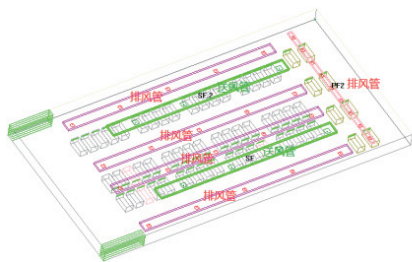


图6 改造后车库模型

车库通风换气次数按10次/h进行计算，车库换气量为 $77*40*3.4*10=104720m^3/h$ ，图7从左至右分别为室外通风温度25、30、35度时的室内温度场模拟情况。

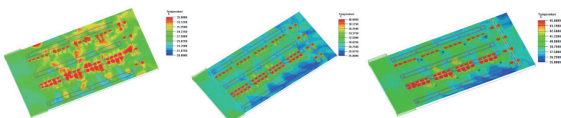


图7 通风温度25°、30°、35°时停车场温度场平面
可以看出，在通风系统改造后车库的温度场有了极大

的变化：

(1) 从平面温度场可以看出，改造后车库温度场整体比较均匀，不存在“一头热”的情况。

(2) 由于排风口从侧墙改至顶棚，极大的改善了库内上方热量堆积的情况。大量余热得以较快排出。

(3) 库内温度较改造前有了明显的降低，平均温度降低5°以上。

(4) 通风降温对于车库有比较明显的效果，但是受限于室外温度，当室外温度高的时候，无法避免车库温度过高。此时，可以考虑其他降温方式，如水喷雾或者局部空调。

4 结语

由于汽车库目前规范没有温度控制要求，在只对3m高度内空间进行6次换气的情况下，许多车库出现温度过高的情况。对于交通枢纽的地下车库，在不与室外直接连通的情况下，库内经常有车辆接人等候的时间内车辆怠速开空调，车库过热的情况明显。为了改善地下车库内的热环境，本文给出以下建议以供参考：

(1) 原侧送侧排系统难以有效排除热量，易形成温度偏差与顶棚热积聚。

(2) 顶部送排风配合换气次数提升至10次/h，可显著改善热环境，并实测平均降温超过5°C。

(3) 对于旅客密集区域，应设置物理隔断并采用独立空调系统。

(4) 在高温地区，必要时可增设水喷雾或局部冷却设备作为辅助降温手段。

参考文献：

[1] 刘欢，郭胜利，赵峰. 大型交通枢纽地下空间热环境特性及调控策略[J]. 建筑科学，2020，36(4): 42-48.
 [2] 陈志峰，丁一，石勇. 高温季节地下停车场热舒适性模拟与优化设计[J]. 建筑节能，2021，49(8): 112-118.
 [3] 李涛，胡晓松. 基于CFD的地下车库通风系统改造效果分析[J]. 暖通空调，2018，48(6): 76-81.

作者简介：连仕康（1994.03-），男，汉族，河北邢台人，硕士研究生，工程师，研究方向：从事铁路暖通设计研究。