

文章编号: 1001-7372(2003)03-0093-03

# 地下停车场通风系统的仿真研究

陈焕新<sup>1</sup>, 杨培志<sup>1</sup>, 王盛卫<sup>2</sup>

(1. 中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075; 2. 香港理工大学 屋宇设备工程学系, 香港)

**摘要:** 对某地下停车场通风系统建立了数学模型, 并利用该模型对地下停车场通风系统进行了仿真研究。研究表明: 对不同的地下停车场可采用如单速风机控制、双速风机控制以及 CO 浓度反馈控制等不同的控制方案。该项研究为地下停车场通风系统控制方案的选择提供了理论依据。

**关键词:** 交通工程; 地下停车场; 仿真; 通风; 控制

**中图分类号:** U491.71 **文献标识码:** A

## Simulation research on the ventilation system of underground park

CHEN Huan-xin<sup>1</sup>, YANG Pei-zhi<sup>1</sup>, WANG Sheng-wei<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China;

2. Department of Building Services Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

**Abstract** Mathematics model for the ventilation system of underground park was established, and the ventilation system was simulated with the mathematics model. The result of simulation indicated that different controlling schemes could be choosed to different underground parks, such as single-speed fan controlling scheme, double-speed fan controlling scheme and frequency converter controlling scheme. Authors provide reference for the choice of ventilation system controlling scheme in the study.

**Key words** traffic engineering; underground park; simulation; ventilation; control

## 0 引言

进入地下停车场的中小型汽车一般以汽油为燃料, 它们在行驶过程中排放出对人体有害的主要气体是 CO。消耗一升汽油可排放 10 m<sup>3</sup> 的废气, 其中有 17% 的 CO<sup>[1]</sup>。通常情况下汽车在地下停车场内发动机的工作状态为怠速运转, 此时尾气中有害物质 CO 的含量超过正常匀速行驶时的数值。表 1 列出各种车辆怠速行驶时的尾气排放量以供参考<sup>[2]</sup>。根据 TJ 36-79《工业企业设计卫生标准》(以下简称《标准》), 只要将 CO 浓度稀释至《标准》规定的范围以下, 则 HC(碳氢化合物)和 NO<sub>x</sub>(氮氧化合物)这两者的浓度均能满足舒适性要求。《标准》同时还规定当作业时间在 10~20 min 以内时, CO 容许浓度可降至 200 mg/m<sup>3</sup>, 这种情况与人在地下停车场内的

表 1 各种车辆怠速行驶时的尾气排放量

车种	平均排气量 /ml·min <sup>-1</sup>	CO 平均浓度 /mg·m <sup>-3</sup>
国产轿车	约 500~550(可取 525)	64 200
进口轿车	约 300~500(可取 420)	45 600
国产面包车	约 550	55 000
进口面包车	约 400~500(可取 450)	50 000

活动情况相似, 可用作地下停车场内空气中 CO 含量标准。在封闭的地下停车场内仅靠自然通风是不够的, 为了使地下停车场内有害气体 CO 的浓度不超过容许值, 通常采用机械通风进行排除和稀释。

如果地下停车场的通风方案设计得不好, 将会引起停车场内污染物浓度的升高, 危害人们的健康。从香港 1993 年环境保护部门的调查报告显示, 在关于地下停车场内恶劣的空气品质的投诉事件中有关空气污染方面的就占了 40%<sup>[3]</sup>。香港环境保护部门

收稿日期: 2002-08-29

作者简介: 陈焕新(1964-), 男, 湖南湘潭人, 中南大学教授, 工学博士。

的一项调查报告显示:在香港有超过 50%的地下停车场的空气品质没有达到世界卫生组织的要求<sup>[3]</sup>。一个人如果在通风情况恶劣的地下停车场内停留较长的时间,将会感到头痛、头晕、恶心、呼吸急促甚至死亡。由此可见,在地下停车场的设计过程中,如何合理地确定通风系统控制方案是决定其整个设计优劣的关键环节,处理不好将导致恶劣的室内空气品质。由于中国过去在地下停车场设计方面的经验不多,尽管近年来发展迅速,但在通风量的控制方面还没有统一的规定。就目前而言,存在三种比较流行的地下停车场通风系统控制方案:单速风机控制、双速风机控制和 CO 浓度反馈控制。研究表明,究竟哪种通风控制方案比较好,对不同的地下停车场结论不尽相同。

### 1 数学模型的建立

要对地下停车场通风系统进行仿真,首先必须建立数学模型,其中包括控制模型、地下停车场模型和风机模型。控制模型是通过 CO 浓度传感器(由于 CO 密度比空气轻,当 CO 刚从发动机排气管排出时积聚的位置较低,而后它会逐渐上升,因此为了测量准确,同一地点传感器安装位置在高度方向上设置三个)采集来自控制区域的 CO 浓度值,并将这个浓度值与设定值进行比较,然后利用 PID 控制来调节风机的转速,使各个控制区域的 CO 浓度满足人体舒适性要求。

对于地下停车场模型,是以建筑物模型为基础,将整个地下停车场划分为多个区域,进行区域控制。式(1)为任意两个相邻区域之间空气质量交换率。

$$m_{ij} = d_a A_{ij} u_{ij} \tag{1}$$

式中:  $m_{ij}$ 为空气质量交换率 (kg/s);  $d_a$ 为空气密度 (kg/m<sup>3</sup>);  $A_{ij}$ 为相邻区域的横截面积 (m<sup>2</sup>);  $u_{ij}$ 为区域之间的平均空气流速 (m/s)。

式(2)~(4)分别为两个相邻区域之间能量、含湿量以及 CO 浓度的动态平衡方程

$$M_i C_p \frac{dT_i}{dt} = Q_{i+} + m_{in} C_p (T_{amb} - T_{in}) + m_{inf} C_p (T_{amb} - T_i) + \sum m_{ij} C_p (T_j - T_i) + \frac{T_{w,i} - T_i}{R_{w,i}} + \frac{T_{fut,i} - T_i}{R_{fut,i}} + \frac{T_{con} - T_i}{R_{win,j}} \tag{2}$$

$$M_i \frac{dG}{dt} = GS_{i+} + m_{in} C_p (G_{amb} - G_{in}) + m_{inf} C_p (G_{amb} - G_i) + \sum m_{ij} C_p (G_j - G_i) \tag{3}$$

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = CS_{i+} + v(C_{amb} - C_{in}) + v_{inf}(C_{amb} - C_i) +$$

$$\sum v_{ij}(C_j - C_i) \tag{4}$$

式中:  $M$   $T$   $G$   $K$   $C$ 分别为空气质量 (kg)、空气温度 (K)、湿度 (kg/kg)、体积 (m<sup>3</sup>)以及污染物浓度 (ppm),污染物包括 CO、NO<sub>2</sub>和粉尘;  $Q$   $GS$   $C_p$   $CS$ 分别为地下停车场内各个分区的热负荷 (kW)、含湿量 (kg/kg)、空气比热和污染物产生率;  $\xi$   $m$   $v$ 分别为空气比容 (m<sup>3</sup>/kg)、空气质量流量 (kg/s)、空气体积流量 (m<sup>3</sup>/s);  $R_w$ 为地下停车场内墙热阻;  $R_{fut}$ 为地下停车场内的内部结构及其设备的热阻;  $R_{win}$ 为地下停车场室内与室外连接处的热阻;  $i$   $j$ 分别为两个相邻的区域;  $amb$   $fut$   $inf$   $in$   $win$ 分别为维护结构、室内设备、渗透、室内和窗户。

为了模拟离心风机,引入了三个变量 ( $H, a, \lambda$ ), 分别为空气体积流量比率、离心风机全压的增长量以及离心风机的吸气能力,其数值可分别根据式(5)~(7)进行计算

$$H = \frac{4g_a}{\pi^2 D^3 N} \tag{5}$$

$$Y = \frac{2P T_{fan}}{d_a (\pi DN)^2} \tag{6}$$

$$\lambda = \frac{800W_{fan}}{\pi^4 D^5 N^3 d_a} \tag{7}$$

式中:  $g_a$ 为空气比容 (m<sup>3</sup>/kg);  $D$ 为风机叶片的外径 (m);  $N$ 为风机转速 (r/min);  $P$ 为风机全压 (Pa);  $T_{fan}$ 为风机温度 (K);  $d_a$ 为空气密度 (kg/m<sup>3</sup>);  $W_{fan}$ 为风机输入功率 (W)。

### 2 控制方案的选择

目前关于地下停车场通风系统的控制方案主要有三种,它们都具有各自的特点。对于单速风机控制,其目的在于通过提高风机速度以达到使地下停车场内的空气品质满足人体的舒适性要求。在整个通风系统运行期间风机速度保持不变。

双速风机控制需要采用双速风机,这种控制方案的特点在于当地下停车场内车流量多时,将风机速度切换到高速状态,当停车场内车流量少时,将风机速度切换到低速状态。可见其运转方式是根据地下停车场的利用率来确定的。

第三种控制方案是 CO 浓度反馈控制,控制器通过 CO 浓度监测仪反馈回来的 CO 浓度来控制风机速度,因此必须采用风机变频调速装置。当由传感器监测到的室内 CO 浓度超过规定值时,操作人员将提高风机转速,使 CO 浓度达到要求的浓度值。这种控制方案需要 CO 浓度传感器,要采用 PID 控制。

图 1 是有关 CO 浓度反馈控制的原理图

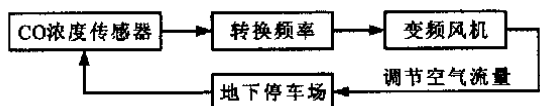


图 1 CO 浓度反馈控制原理

### 3 工程实例<sup>[4]</sup>

#### 3.1 某地下停车场的概况

根据某地下停车场的实际情况,通过所建立的数学模型进行仿真研究。该地下停车场有三层,总共包括 677 个车位,每一层的面积是 9 640 m<sup>2</sup>,占有的空间是 27 000 m<sup>3</sup>,整个地下停车场除了进口和出口以外没有其它的通道与室外空间相通,通风时间从 6 00 到 24 00 该停车场机械通风系统如图 2 所示。

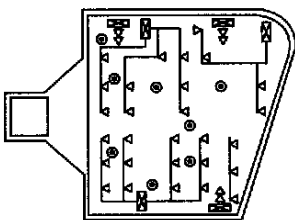


图 2 机械通风系统

#### 3.2 运用 TRN SYS 软件进行仿真

笔者采用 TRN SYS 软件对该地下停车场通风系统进行仿真研究<sup>[5]</sup>,将当地测得的数据例如室内外空气温度、湿度以及各种污染物浓度作为仿真测试中最基本的数据,各个区域来自汽车、灯光和其它设备的热负荷按照其相应的数值分别进行计算,各区域之间相互的热渗透率按照漏风面积和室外状况进行计算。根据风机性能曲线,采用风机模型来模拟送风风机和排风风机的运行状况。各个模型之间信息的传递流程见图 3。

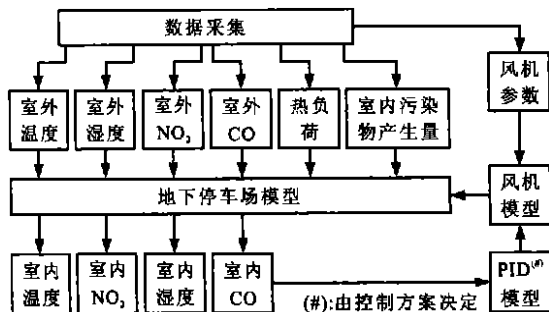


图 3 各个模型之间信息传递

首先将气流状况、污染物浓度、污染物产生率以及地下停车场使用率等参数输入地下停车场模型,让这个数学模型获得室内污染物浓度和热舒适性状况,然后根据式(2)~(4)来进行能量、含湿量和 CO 浓度的平衡。

#### 3.3 仿真结果的分析

通过对该地下停车场通风系统进行仿真,利用室内空气品质、热舒适性、能量消耗以及安装费用这四个指标对这三种控制方案进行综合评价。其各项指标的结果如表 2 所示。笔者将控制方案的各项指标划分为三个等级:优秀、良好和一般,分别用 1、2 和 3 表示。从表 2 可以看出,单速风机控制方案在室内空气品质、热舒适性和安装费用这三项指标上获得优秀等级,虽然这种控制方案耗能比较大,但经过综合比较,单速风机控制方案最适合于该地下停车场。与其它两种通风控制方案相比较,CO 浓度反馈控制方案在“热舒适性”和“室内空气品质”这两项指标上的评价不理想,其原因在于“气体惰性滞后”所致,当传感器测出 CO 浓度过高时,再来提高风机转速,由于地下停车场空间较大,不能迅速将 CO 浓度降下来。

表 2 总体性能评价

通风控制方案	室内空气品质	热舒适性	能量消耗	安装费用
单速风机控制	1	1	3	1
双速风机控制	2	2	2	2
CO 浓度反馈控制	2	3	1	3

### 4 结 语

地下停车场中 CO 等有害气体对人体的危害不可忽视,工程设计人员应高度重视地下停车场中的通风系统,并采用合理的方式对其通风系统进行控制,以达到在室内空气品质、热舒适性、节能和初投资等方面的最佳组合。

#### 参考文献:

- [1] 李昕原,李惠风.地下车库通风与排烟方案的探讨[J].通风除尘,1995,14(4): 35-38.
- [2] 邱建中,刘金祥.地下停车库的通风、排烟系统设计[J].通风除尘,1996,15(3): 37-40.
- [3] Hong Kong Government. Hong Kong air quality objectives [R]. Hong Kong: Hong Kong Environmental Protection Office, 1993.
- [4] CHAN CHING YU K. Field study on IEQ and evaluation of mechanical ventilation control in underground car park[D]. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 1999.
- [5] WANG S W. CO<sub>2</sub>-based occupancy detection for on-line outdoor airflow control [J]. Indoor-Build Environment, 1998, 15(7): 165-181.