

汽车尾气烟羽的形成及地下车库排风方式

同济大学 李强民[☆] 邓伟鹏 赵晓辉

上海机电设计研究院 李 磊

现代建筑设计集团 朱苑中

摘要 指出停车库内汽车尾气的流动过程可看作烟羽的形成过程。针对上排风、下排风及上、下同时排风 3 种排风方式分别进行了气流显示实验,根据得到的图片对汽车尾气烟羽的形成和发展过程进行了分析;对前 2 种排风方式下的排风量进行了测定。结果表明,3 种排风方式下汽车尾气烟羽的形成过程基本相同;排风口面积相同的情况下,上排风的排风量大于下排风。指出地下车库以下排风为主的通风系统的不合理性,建议采用上排风方式。

关键词 汽车尾气 烟羽 地下车库 排风 气流显示

Formation of automobile emission plume and air exhaust mode of underground parking garages

By Li Qiangmin[★], Deng Weipeng, Zhao Xiaohui, Li Lei and Zhu Wanzhong

Abstract Points out that the automobile emission is actually a form of thermal plume. Makes flow visualized experiments separately for three exhaust modes, i. e. exhaust from upper part, lower part and simultaneously from upper and lower part of a garage, and analyses the formation and development process of the plume based on the obtained pictures. Measures exhaust air rate for the first two modes. The results show that the formation process of the plume is basically the same for the three modes and that exhaust air rate for the first exhaust mode is larger than that of the second in the case of the same air outlet area. Points out inappropriateness in adopting the mode of exhaust mainly from lower part of an underground parking garage, and recommends the mode of exhaust from upper openings.

Keywords automobile emission, plume, underground parking garage, exhaust, flow visualization

★ Tongji University, Shanghai, China

①

0 引言

随着我国汽车工业的发展,汽车的数量越来越多,汽车尾气的排放日渐成为一个重要的环境问题,汽车尾气已成为主要的空气污染源之一^[1]。随着经济的发展,人口密度的不断增大,出现了许多地下停车库。这些停车库空间一般都较大并处于封闭或半封闭状态。我国目前对于地下停车库的机械通风和机械排烟系统的设计尚有争议,因此,设计人员的作法不一致,在实际工程中使用效果也

不一样,缺乏科学的评价。

行驶在这些封闭停车库中的汽车要排出废气,排放的废气中对人体有害的气体主要是 CO。根据我国《工业企业设计卫生标准》(TJ 36-79)规

①[☆] 李强民,男,1936年2月生,大学,教授
200092 同济大学暖通空调及燃气研究所
(021) 65624586
E-mail: qiangminlee@163.com
收稿日期:2003-03-17
修回日期:2004-01-18

定,车间内 CO 的最高容许浓度为 30 mg/m^3 ;同时规定作业时间在 60 min 以内时,容许浓度为 50 mg/m^3 ,作业时间在 30 min 以内时,容许浓度为 100 mg/m^3 ,作业时间在 $10 \sim 20 \text{ min}$ 以内时,容许浓度为 200 mg/m^3 。最后一种情况与人在汽车库内活动接近,可作为地下停车库空气中 CO 标准。为了满足地下停车库内环境卫生标准,必须解决好停车库内的通风问题。传统的地下停车库的通风系统设计缺少对气流组织的科学研究,认为汽车尾气污染物大部分聚集在车库的下部,通常采用下排风 $1/2 \sim 2/3$ 、上排风 $1/2 \sim 1/3$ 的排风系统^[2]。所有这些,在消除污染物方面的效果缺少科学的评价。为此,笔者对汽车尾气烟羽的形成进行了实地的气流显示实验,对地下停车库排风方法提出了建议。

1 问题的提出

汽车排出的尾气温度比车库环境温度高,可以看作热源。它的流态形成原理与烟羽相同,因此可以把汽车尾气的流动过程看作烟羽的形成过程。

根据烟羽理论^[3],热污染源形成的烟羽因密度低于周围空气而上升。烟羽沿程不断卷吸周围空气并流向顶部。如果烟羽流量在近顶棚处大于送风量,根据连续性原理,必将有一部分热浊气流下降返回,因此在顶部形成一个热浊空气层,在任一个标高平面上的上升气流流量等于送风量与返回气流流量之和。因此必将在某一个平面上烟羽流量正好等于送风量,在该平面上返回空气量为零。在稳定状态时,这个界面将室内空气在流态上分成两个区域,即上部湍流混合区和下部单向流动清洁区。这对于我们研究汽车尾气的排放有所启发。

汽车排出的尾气,动量很小,经过一段距离的扩散之后,就近似于房间内热源,尾气及其周围的空气向上流动,近似于房间内烟羽的形成。而房间烟羽形成之后,并不会扩散到周围空气中,只有在达到一定的高度之后,才会横向扩展,污染车库空气。传统的通风方式,没有考虑到烟羽的特性,采用以下部排风为主的排风系统,管道从房间顶部一直延伸到下部。如果改用上部排风的系统也能达到同样的消除污染的效果,那么可以缩短风管的长度,节省系统的投资。

2 烟羽的理论研究

国外一些学者建立了烟羽的理论模型,并对其

进行了理论上的研究^[4]。稳定热力分层环境中的烟羽分为上、下两个明显的部分,下部流体的密度和速度都具有自相似性,上部流体向四面扩散,直至上升到最大的高度。烟羽模型见图 1。

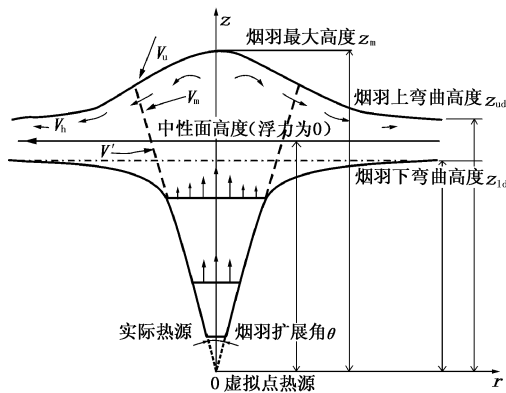


图 1 烟羽模型

对于自由扩散的烟羽上部,尚无理论模型。在烟羽上部,流量保持平衡。烟羽的一小部分气流 V' 连续不断地卷入到原来的垂直上升的气流之中。另外有一小部分气流 V_u ,由顶部卷入烟羽。烟羽向四周扩散的体积流量为常量 V_h 。若烟羽的最大流量为 V_m ,则上部烟羽的流量平衡关系可表示为:

$$V_m + V_u - V' = V_h \quad (1)$$

实际上,由烟羽顶部及内部卷入的烟羽流量 V_u 和 V' 都很小。这样 V_h 就可看作与 V_m 相等。

3 地下停车库汽车尾气烟羽的气流显示研究

3.1 实验思路

在实际的地下停车库中进行气流显示实验,使用发烟剂同汽车尾气相混合,观察汽车尾气烟羽的形成。通过摄影,记录烟羽的形成过程,并对通风系统的参数进行测定研究,比较其排风效果,确定合理的排风方式。

3.2 实验条件

3.2.1 地下车库

实验地点为某高层建筑的地下停车库。停车车位的底部、背部及左侧用黑布遮盖,以便进行气流显示。车库层高为 $3\,300 \text{ mm}$,加演示黑布后实际为 $2\,500 \text{ mm}$ 。车库的局部剖面图和平面图见图 2。

3.2.2 汽车

采用普通桑塔纳轿车 1 辆,手动调速,燃油。实验时,汽车处于冷启动状态,发动机转速为 $2\,000$

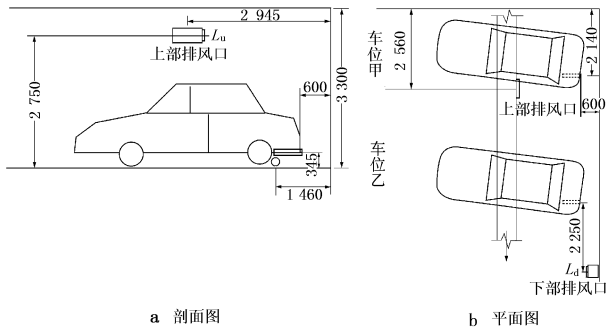


图2 地下车库的局部剖面图和平面图

r/min, 排烟温度为 44.8 °C。

3.2.3 发烟剂及风速仪

发烟剂采用乙二醇, 发出烟雾的热量不足以改变汽车尾气的温度, 同时能够产生足够的烟雾, 便于进行气流显示。使用风速仪分别对上、下排风口的风速进行测量, 比较其风量。

3.3 气流显示的结果

笔者对 3 种排风方式(上、下排风系统同时运行, 单开上排风系统, 单开下排风系统)分别进行了气流显示实验, 研究不同排风形式对汽车尾气烟羽形成的影响。实验时汽车位于车位乙。用照相机拍摄烟羽在黑色背景下的形成过程, 观察烟羽的流态。由于在横向上有垂直的黑布遮挡, 因此汽车尾气烟羽在边界上沿黑布界面作垂直的贴附上升运动, 利用流体力学的镜面效应, 我们对称做出了另一半烟羽的流态, 组合成一个完整的烟羽。气流显示的结果表明, 3 种排风方式下, 烟羽的形成过程基本相同, 如图 3 所示。

3.4 汽车尾气烟羽形成及发展过程分析

笔者描出了图 3 烟羽的轮廓, 得到了烟羽形成及发展过程示意图, 见图 4。

3.4.1 图 3d 是本实验条件下烟羽充分发展时的形态, 笔者按照理想的烟羽模型^[4]对其进行了一定的完善, 包括:

a) 在烟羽顶部补充一条与原轮廓平滑一致的曲线, 得到完整的烟羽顶部。

b) 在其下方作外侧烟羽的切线, 两切线相交于一点, 即为虚拟点热源的位置。

3.4.2 根据图 4, 量出烟羽最大高度 z_m 、烟羽上弯曲高度 z_{ud} 、烟羽下弯曲高度 z_{ld} 及烟羽扩展角 θ , 得到:

$$z_{ud}/z_m = 0.81, z_{ld}/z_m = 0.59, \theta = 22.6^\circ.$$

文献[4]作者根据以前的实验结果和自己的实

验研究, 给出 z_{ud}/z_m 和 z_{ld}/z_m 的平均值, 分别为 0.77 和 0.55; 并引用 Morton 的实验数值, 在均匀一致、无温度分层的空间内, $\theta = 15.8^\circ$ 。

3.4.3 实验结果分析

3.4.3.1

本实验气流显示得到的两个无量纲特征高度 z_{ud}/z_m , z_{ld}/z_m 均比文献[4]中的相应值偏大, 偏差分别为 5% 和 7%。

3.4.3.2

文献[4]中实验是在 8 m × 6 m × 5 m (长 × 宽 × 高) 的实验室内进行的, 烟羽得

到了充分的

发展, 其 z_m 为烟羽充分发展之后的值; 而本实验由于实验条件的限制, 加演示黑布之后空间实际高度为 2.5 m, 因此限制了烟羽的发展, 这是造成两项实验数据差异的主要原因。

3.4.3.3 本实验得到的烟羽扩展角 θ 值比无温度分层环境下的 $\theta (15.8^\circ)$ 大 6.8° 。文献[4]指出温度分层会使扩展角增大。本实验在冬季进行, 停车库内温度分层明显, 造成了 θ 偏大。



a



b



c



d

图3 汽车尾气烟羽形成及发展过程

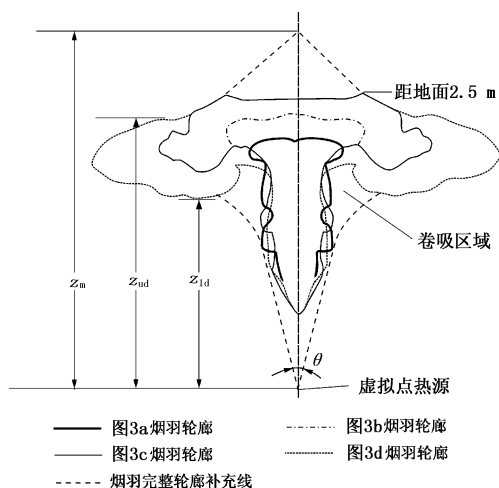


图 4 烟羽形成及发展过程示意图

3.4.3.4 本实验发烟剂为乙二醇,在烟羽的周边区,由于乙二醇凝结浓度不够,因此造成烟羽显示的形态不完整,所以在确定烟羽的轮廓时,按照图 3 中烟羽的最大周边轮廓来确定。

3.5 排风口风量的测定

排风口风量测试在停车库的局部进行,只对进行气流显示位置周围的排风口进行开关操作。测量上排风口风量时,下排风口关闭,测量下排风口风量时,上排风口关闭。

3.5.1 上排风口排风量 L_u

风口尺寸及测点布置如图 5 所示,测量结果见表 1。

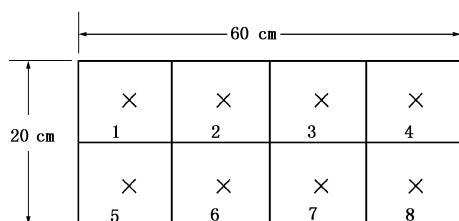


图 5 上排风口测点布置图

表 1 上排风口排风量测量结果

	测 点							
	1	2	3	4	5	6	7	8
风速/(m/s)	8.5	9.0	8.4	7.5	8.4	9.5	7.1	7.6
平均风速/(m/s)	8.25							
排风口有效面积/m ²	0.102							
排风量 L_u /(m ³ /h)	3 029							

3.5.2 下排风口排风量 L_d

风口尺寸及测点布置如图 6 所示,测量结果见表 2。

表 2 下排风口排风量测量结果

	测 点					
	1	2	3	4	5	6
风速/(m/s)	8.0	7.5	5.8	5.5	4.5	4.5
平均风速/(m/s)	5.97					
排风口有效面积/m ²	0.17					
排风量 L_d /(m ³ /h)	3 653					

4 结论

4.1 根据气流显示结果,汽车尾气的贴附流动可看作热烟羽的流动。热烟羽是由于浮力作用以及尾气的出口动能而形成的。

4.2 传统的观点认为汽车尾气污染物聚集在车库的底部而采用

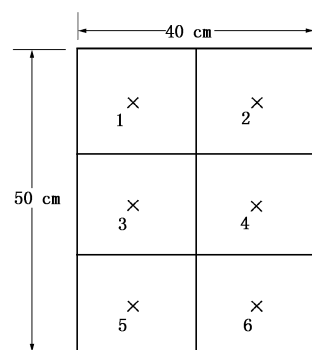


图 6 下排风口测点布置图

下排风为主的排风方式,下排风的排风方式造成了投资成本的加大。根据汽车尾气排放的气流显示结果,无论采用单独上排风,单独下排风,还是上、下同时排风,汽车尾气烟羽的形成和流向没有明显差异,汽车尾气均贴附于墙面上浮,尾气到达天花板后贴附在顶部并向四周扩散流动。这样,采用上排风的方法就可以有效地排出汽车尾气污染物,并能够节省投资。

4.3 汽车尾气气流显示结果与文献[4]中所引用的实验结果相近,两个无量纲特征高度 z_{ud}/z_m 和 z_{ld}/z_m 分别相差 5% 和 7%。

4.4 由实际测量得到的数据可以看出,上排风口的排风速度为 8.25 m/s,下排风口排风速度为 5.97 m/s。在排风口面积相同的情况下,上排风的排风量可比下排风大 38.2%。

4.5 由于气流显示的需要,采用了黑布背景,限制了上部烟羽的充分发展,因此烟羽的流态并不完整,但这并不妨碍我们对于汽车尾气烟羽形成及其发展的认识,同样并不影响作出的宜采用上排风的结论。

参考文献

- 1 沈迪新,陈宏德,田群. 我国汽车尾气污染、污染控制与对策. 环境科学进展,1997,5(6)
- 2 JGJ 100-98 汽车库建筑设计规范
- 3 李强民. 置换通风原理、设计及应用. 暖通空调,2000,30(5):41-46
- 4 Jin Yonghui. Particle transport in turbulent buoyant plumes rising in a stably stratified environment. Arbete och Hälsa,1993,23