

地下车库诱导通风系统 流场特性实验研究

兰州交通大学 姬保磊[☆]

上海逻森机械设备有限公司 陈锦奎

兰州交通大学 任玉龙

摘要 针对地下车库诱导通风系统的工作过程,建立了实体实验模型,测试了 4 种工况下流场中 2 个断面的速度场分布情况,分析了不同情况下诱导通风系统速度场的变化规律,得出地下车库诱导通风系统作用下浓度场的可能变化规律。

关键词 诱导通风系统 地下车库 速度场 实验

Experiment of velocity field characteristics of inductive ventilation systems in underground garages

By Ji Baolei[★], Chen Jinkui and Ren Yulong

Abstract Regarding the working process of the inducing ventilation system in underground garages, constructs a physical experiment model. Measures the velocity distribution on two sections under four working conditions, analyses the changing patterns of the velocity field with the inducing ventilation system under various conditions, and educes the probable changing patterns of the concentration field under the influence of the inducing ventilation system.

Keywords inducing ventilation system, underground garage, velocity field, experiment

★ Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, China

① 0 引言

关于地下车库大空间通风过程的理论研究文献国内很多,对诱导通风方式有不少介绍^[1-5],但主要是工程类的论文,定性地介绍了有无风管诱导通风的基本原理,对于针对性的研究都只是略有提及。对于有风管的诱导通风系统,李晓冬等人曾作过数值模拟,将它与传统的管道通风的气流组织进行了模拟比较,证明有风管诱导通风换气效果好^[6]。李茜等人曾作过地下车库无风管诱导通风系统的数值模拟研究,对成都某地下车库采用无风管诱导通风时的气流组织利用 CFD 技术进行了模拟分析^[7]。文献^[7]通过变换送排风口的相对位置、喷嘴射流的角度、送排风机压差引起的主气流和诱导风机射流气流的相对关系等,寻找保证理想

诱导通风效果需要的条件,总结无风管诱导通风系统的设计和运行规律,并对无风管诱导通风系统的设计和运行提供了一些理论依据和建议。随着第三代无风管诱导通风器的问世,它日益在地下车库中得到广泛的应用,鉴于诱导通风器流场理论的复杂性,有必要进一步研究第三代无风管诱导通风器的流场变化规律。

本文针对实际应用中的地下车库诱导通风系统的工作过程,根据诱导通风理论流场变化情

①[☆] 姬保磊,男,1977 年 11 月生,在读硕士研究生
730070 甘肃省兰州市安宁西路 88 号兰州交通大学 211 信箱
(O) 15333813957 13389317673
E-mail: zk648@126.com
收稿日期:2007-08-13
修回日期:2007-11-05

况,建立实体实验模型,测量模型局部流场中多个截面的速度分布情况,分析多种情况下的诱导通风系统速度场变化规律,进而得出地下车库诱导通风系统作用下的浓度场可能的变化规律。并为实际工程中地下车库诱导通风系统的设计提供一些参考。

1 诱导通风器端射流特性分析

现在许多文献(如文献[8])均把地下车库诱导通风基本原理理解为是单独的自由射流理论及动量原理在工程中的应用。但笔者从三个方面分析真实流场射流特性认为:

1) 由于实际工程中诱导通风器的型号和喷口个数、喷口尺寸并不一样,故分析流场时应分类讨论。目前诱导通风器喷口个数一般为1~3个。对于只有1~2个圆形喷口的诱导通风器,其端射流形式应属于圆断面端射流。而现在许多诱导通风器由3个圆形喷口组成,且各个喷口之间的间距很小,例如,本文所用的诱导通风器3个喷口直径为80 mm,2个喷口之间的间距为80 mm,其端射流形式已经不能满足圆断面端射流理论了,因其等效矩形长、宽比接近5:1,反而更接近于三维矩形端射流理论。

2) 地下车库诱导通风射流是向半无限大空间送风,当车库顶部限制了射流的扩散运动时,自由射流规律不再适用,因此必须研究受限后的射流即有限空间射流运动规律。目前有限空间射流理论尚不完全成熟,多是根据实验结果整理成近似公式或量纲一曲线,供设计使用。

3) 由于地下车库诱导通风端射流气流场不是由一台通风设备引起的,更多的是由多台设备同时使用引起的,而纵向两台射流风机之间的气流场并不是简单的自由射流场或有限射流场,而更可能是后一台诱导射流风箱自由射流场或有限射流场与前一台诱导射流风箱的回风口产生的汇流场或速度势流场的叠加。由流体理论分析可知,此时地下车库空间的气流场是处于一个占主导地位的端射流场和一个势流场同时作用下的复杂流场。现在由于很少有这方面的理论研究,出现了许多问题,如采用许多文献认为的单独的自由射流理论和动量原理分析流场规律,与认为实际空间的气流场是处于一个占主导地位的端射流场和一个势流场同时作用下的复杂流场来分析研究流场规律,这

两者有何差异,差异的程度如何等等。这都是有待研究的问题。

2 实体模型与实验内容

2.1 实验台搭建

在面积为 540 m^2 (30 m(长) \times 18 m(宽) \times 12 m(高))的实验大厅中水平吊装4台诱导器 YD1~YD4, x 方向2台间距8.3 m, y 方向2台平行布置时间距3.8 m,各向中间偏 20° 角布置时间距3.2 m。诱导器开启,形成一个局部的诱导通风下的气流场。在这个局部流场中,选取9 m(长) \times 5 m(宽) \times 3.35 m(高)、面积 45 m^2 的模型实验区,见图1。诱导器底距水平地面2.5 m。诱导器球形喷口斜向下的倾角约为 15° 。诱导器布置示意图见图2。

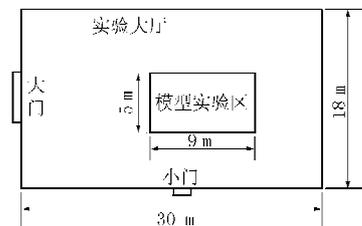
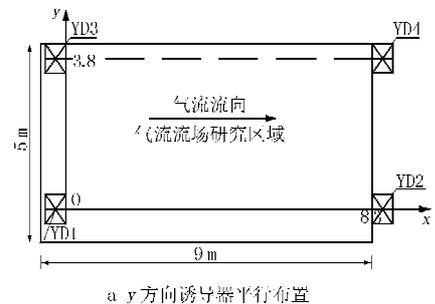
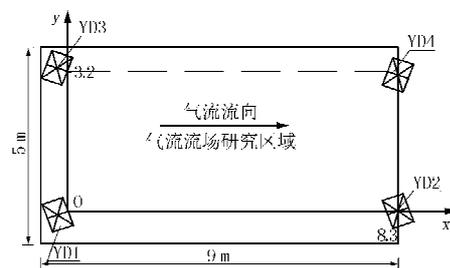


图1 实验大厅及模型实验区示意图



a y方向诱导器平行布置



b y方向诱导器各向中间偏 20° 角布置

图2 诱导器布置示意图

2.2 实验仪器和主要设备

热球式电风速计;智能型 YFA-3Z(W)诱导通风设备:风量 $780\text{ m}^3/\text{h}$,出口风速 12.5 m/s ,功率 0.12 kW ,风压 250 Pa ,外形尺寸为 750 mm (长) \times 570 mm (宽) \times 230 mm (高)。

2.3 实验工况

本文仅分析标高为 0.5 m(小汽车排气管高度)和 1.3 m(小汽车内人员呼吸高度)两个横断面流场分布规律。

实验工况 1:4 台诱导器同时开启建立流场;

实验工况 2:4 台诱导器只有 x 方向 2 台(YD1, YD2)开启建立流场;

实验工况 3:4 台诱导器只有 y 方向 2 台(YD1, YD3)开启建立流场;

实验工况 4:4 台诱导器只有 1 台(YD1)开启建立流场。

3 实体模型实验结果

3.1 y 方向诱导器平行布置局部流场区速度场变化规律

1) 实验工况 1(结果见图 3)

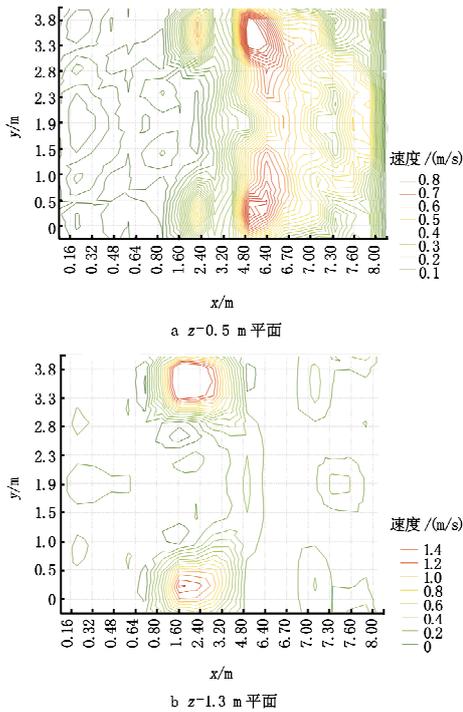


图 3 y 方向诱导器平行布置实验工况 1 速度场变化

2) 实验工况 2(结果见图 4)

3) 实验工况 3(结果见图 5)

4) 实验工况 4(结果见图 6)

3.2 y 方向诱导器各向中间偏 20° 角布置局部流场区速度场变化规律

实验工况 1 的结果见图 7。

4 实验结论

4.1 通过对图 3a 的分析可知,其模型实验区气流

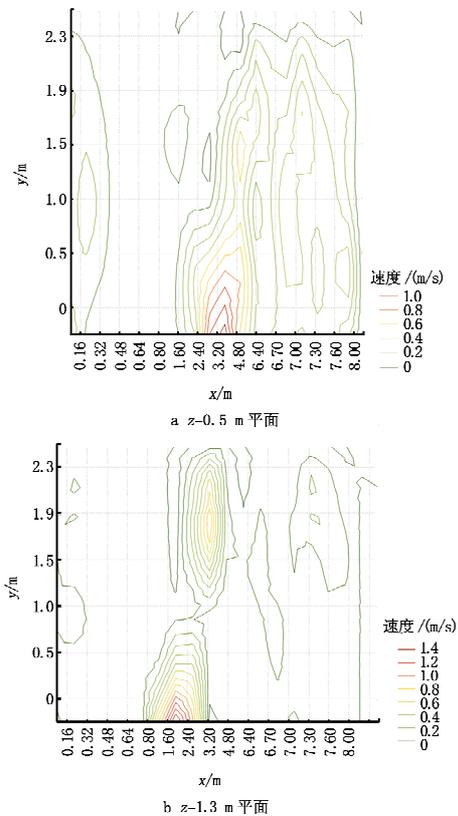


图 4 y 方向诱导器平行布置实验工况 2 速度场变化

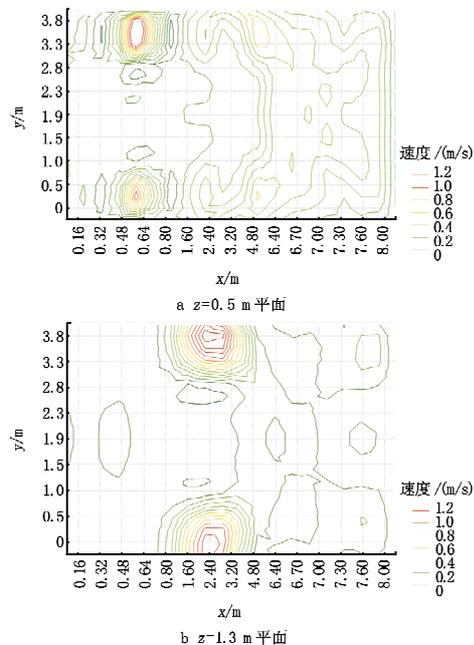


图 5 y 方向诱导器平行布置实验工况 3 速度场变化

场中速度变化主要集中在 $x=0.8\sim 8$ m 区域内,且出现最大速度值的区域在 $x=4.8$ m 附近,速度分布范围为 $0.1\sim 0.8$ m/s。在 $x=8$ m 附近,速度

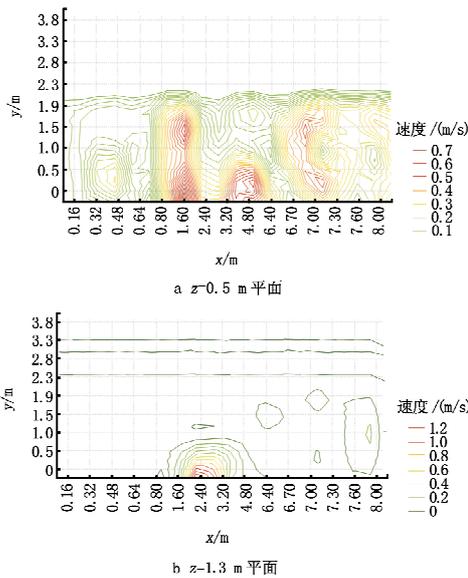


图 6 y 方向诱导器平行布置实验工况 4 速度场变化

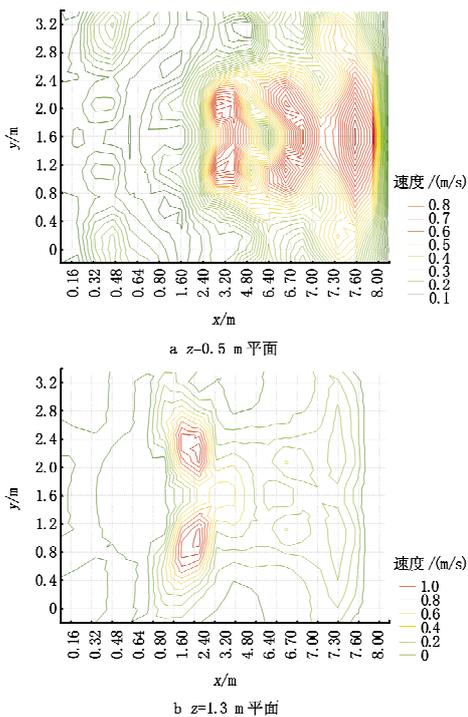


图 7 y 方向诱导器各向中间偏 20°角布置实验工况 1 速度场变化

范围为 0.3~0.5 m/s, 这表明工程实际应用中诱导器按 x 方向间距为 8 m、 y 方向间距为 3.8 m 左右布置, 流场区气流速度大于 0.3 m/s 时, 其卷吸作用较强, 稀释污染物作用也相应较强, 换气次数也随之加大, 此时气流携带污染物的能力增强。

4.2 由图 5a 可知, 其模型实验区气流场中速度变化主要集中在 $x=0.48\sim0.8$ m 区域内, 且出现最

大速度值的区域在 $x=0.5$ m 附近, 速度分布范围为 0.2~1.2 m/s。在 $x=8$ m 附近, 速度衰减为 0.2 m/s 左右, 此时速度较小, 已经不具有携带污染物的能力, 仅能够稀释污染物。

4.3 由图 3b 可知, 模型实验区气流场中速度变化主要集中在 $x=0.8\sim4.8$ m 区域内, 且出现最大速度值的区域在 $x=1.6$ m 附近, 其速度分布范围为 0.2~1.4 m/s。在 $x=8$ m 附近, 速度衰减为 0.2 m/s, 此时较大的风速主要在 $z<1.3$ m 的区域。

4.4 由图 5b 可知, 模型实验区气流场中速度分布规律和图 1b 类似, 主要集中在 $x=0.8\sim4.8$ m 区域内, 且出现最大速度值的区域在 $x=2.4$ m 附近, 但速度分布范围为 0.2~1.2 m/s。最大速度值小于图 3b 情况, 速度减小了 0.2 m/s。在 $x=8$ m 附近, 速度衰减为 0.2 m/s, 此时较大的风速主要在 $z<1.3$ m 的区域。

4.5 由图 4a 可知, 模型实验区气流场中速度变化主要集中在 $x=1.6\sim6.4$ m 区域内, 且出现最大速度值的区域在 $x=3.2$ m 附近, 速度分布范围为 0.2~1 m/s。在 $x=8$ m 附近, 速度衰减为 0.4~0.6 m/s, 此时风速具有一定携带污染物的能力。同时也可知, $y=1.5$ m 区域附近速度值大于 $y=1$ m 区域附近速度值。这主要是与诱导器的 3 个喷口出风速度不相同有关。由 $y=1.9\sim2.3$ m 区域内速度分布分析可得, x 方向 2 台诱导器开启, 卷吸作用区域大致在间距为 4 m 的范围内。

4.6 由图 6a 可知, 模型实验区气流场中速度变化主要集中在 $x=0.8\sim7.3$ m 区域内, 且出现最大速度值的区域在 $x=1.6$ m 附近, 速度分布范围为 0.1~0.7 m/s。在 $x=8$ m 附近, 速度衰减为 0.1~0.4 m/s, 此时风速较小, 相比图 4a 情况, 其携带污染物的能力要小得多。同时也可知, 诱导器只有在多台开启的情况下, 其诱导通风能力才能体现, 否则只是起到稀释污染物浓度的作用。

4.7 由图 4b 可知, 模型实验区气流场中速度变化主要集中在 $x=0.8\sim4.8$ m 区域内, 且出现最大速度值的区域在 $x=1.6$ m 附近, 但速度分布范围为 0.2~1.4 m/s。同时也可知, $y=1.5\sim1.9$ m 区域附近速度值大于 $y=1\sim1.5$ m 区域附近速度值。这明显反映了诱导器的 3 个喷口出风速度不相同所造成的影响。

4.8 由图 6b 可知,模型实验区气流场中速度变化主要集中在 $x=1.6\sim 8\text{ m}$ 区域内,其速度分布均匀,且出现最大速度值的区域在 $x=2.4\text{ m}$ 附近,速度分布范围为 $0.2\sim 1.2\text{ m/s}$ 。在 $x=8\text{ m}$ 附近,速度衰减为 0.2 m/s 。

4.9 由图 7a 可知,模型实验区气流场中速度变化主要集中在 $x=0.8\sim 7.3\text{ m}$ 区域内,且出现最大速度值的区域在 $x=7.6\text{ m}$ 和 $y=1.6\text{ m}$ 附近,速度分布范围为 $0.1\sim 0.8\text{ m/s}$ 。在 $x=8\text{ m}$ 附近,速度保持在 0.5 m/s 左右。相比图 3a 情况,其诱导通风能力要大些。但其诱导通风作用范围要小些,主要集中在以 $y=1.6\text{ m}$ 为对称轴间距 3.4 m 范围内。

4.10 由图 7b 可知,流场中速度分布规律和图 1b 类似,主要集中在 $x=0.8\sim 4.8\text{ m}$ 区域内,且出现最大速度值的区域在 $x=2.4\text{ m}$ 附近,但速度分布范围为 $0.2\sim 1\text{ m/s}$ 。最大速度值相比图 3b 情况减小了 0.4 m/s 。在 $x=8\text{ m}$ 附近,速度衰减为 0.4 m/s 。从图 7b 作用区域小、但最大速度值反而小于图 3b 的情况分析,这与诱导器形成双股射流场分布规律有关。虽然两股射流外缘的卷吸不受限制,但两股射流之间受彼此的限制,卷吸不充分而形成相互的吸附,流动就比单股射流场复杂得多,在此不作深入探讨。

通过以上分析可认为,诱导通风系统流场是一个较复杂的流场,在以后的诱导通风系统工程设计中,设计人员应尽可能多考虑其流场变化规律,合理设计气流组织。

参考文献:

[1] 龚锦,刘伊. 太阳园小区地下车库喷流诱导通风系统的经济性分析[J]. 北京建筑工程学院学报,2002,18(3)
 [2] 许淑惠,罗文斌. 地下停车场无风道诱导通风系统性能及经济性分析[J]. 北京建筑工程学院学报,2004,20(2)
 [3] 秦岚,文彪. 浅析诱导通风系统在地下车库中的应用[J]. 建筑热能通风空调,2004,23(5)
 [4] 张伟程,麦岚. 喷流导引系统的实际应用[J]. 制冷空调与电力机械,2002,23(4)
 [5] 董培庭,金林. 智能型诱导通风系统在地下汽车库中的应用探讨[C]// 山东建筑学会 2005 年优秀论文集,2005: 222-224
 [6] 李晓冬,岳峻岫,陆亚俊,等. 地下车库中诱导通风方式的数值模拟[J]. 哈尔滨商业大学学报,2003,19(5)
 [7] 李茜,秦萍. 地下车库无风管诱导通风系统数值模拟研究[D]. 成都:西南交通大学,2005
 [8] 彭荣. 射流诱导通风系统的发展及其设计计算方法[J]. 建筑热能通风空调,2004,23(3)

(上接第 53 页)

式中 L_w 为通风机的声功率级, dB; L 为通风机的风量, m^3/h ; H 为通风机的风压(全压), Pa。

两台相同风机的叠加总噪声为^[4]

$$L_{wz} = L_w + 10\lg 2 \quad (2)$$

式中 L_{wz} 为两台风机叠加后的总噪声, dB。

设单台高压头风机的风量为 L , 风压为 H , 若选用两台低压头风机串联, 则每台风机的风量仍为 L , 风压为 $0.5H$, 这样单台高压头风机的噪声为

$$L_{wg} = 5 + 10\lg L + 20\lg H \quad (3)$$

式中 L_{wg} 为高压头风机声功率级, dB。

两台低压头风机总噪声为

$$L'_{wz} = L_{wg} + 10\lg 2 = 5 + 10\lg L + 20\lg(0.5H) + 10\lg 2 \quad (4)$$

式中 L'_{wz} 为两台低压头风机叠加后的总声功率级, dB; L_{wg} 为低压头风机声功率级, dB。

二者之差 ΔL_w 为

$$\Delta L_w = (5 + 10\lg L + 20\lg H) -$$

$$[5 + 10\lg L + 20\lg(0.5H) + 10\lg 2] \quad (5)$$

经计算, ΔL_w 约为 3 dB。

由此可见,用两台低压头风机串联取代单台高压头风机具有降噪功能。

3 结语

规范的修改是件非常严肃的事情。以上所论,纯属个人见解,不妥之处,恳请各位专家批评指正。

参考文献:

[1] 中国有色工程设计研究总院. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2004
 [2] 建设部工程质量安全监督与行业发展司,中国建筑标准设计研究所. 全国民用建筑工程设计技术措施 暖通空调·动力[M]. 北京:中国计划出版社,2003:115
 [3] 河北省工程建设标准化办公室. 05N4-1 河北省工程建设标准设计—05 系列建筑标准设计图集——暖通空调专业(下册)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005:71
 [4] 全国勘察设计注册工程师公用设备专业管理委员会秘书处. 全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业考试复习教材[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,2006:479-480