

诱导通风方式在地下车库通风工程中的应用分析

摘要：本文通过分析地下车库通风工程常规设计中存在的问题，对国内外近几年来推广的诱导通风方式在车库中的应用进行分析。关键词：地下车库 通风工程设计 诱导通风方式 应用分析

目前我国大量兴建高层建筑，设计中都设有地下停车库。它占有建筑空间的大小，直接影响到投资的经济性。本文从探讨地下车库的常规设计出发，根据目前存在的问题，介绍了国内外近几年来推广的诱导通风方式在车库中的应用。

1、停车库的通风量计算

1.1 考虑因素

通风量的确定和车库内许多因素有关。例如，停车库规定的停车数量（即每个车位的面积指标）、单位时间出入车库的车数与额定停车数之比（称出入频率）、车库内车辆行驶的平均时间及每辆车的CO排量、车库内容许CO浓度以及室外CO浓度。

众所周知，停车场的换气量是按有害气体（一般以CO为准）稀释到容许浓度来决定的，同时也要符合当地法规的规定。

1.2 换气量的基本公式

室内全面通风换气量与有害气体发生量和容许浓度的关系可用下式表示：

$$\text{通风量： } L=G/(m_1-m_0) \quad (1)$$

式中：L—通风换气量（ m^3/h ）；

G—有害气体发生量（ m^3/h ）；

m_1, m_0 ——分别为室内容许有害气体浓度和进风空气中的有害气体的浓度， m_0 一般取5ppm（即容积百分率0.0005）

$$\text{因此： } m_1=G/L+m_0 \quad (2)$$

虽然车库的有害气体成份有CO、CO₂、NO₂、HCHO、Pb、SO₂等多种，但按劳动卫生法规，以稀释汽车排气中CO含量（0.01-0.1%）到容许浓度的新鲜空气倍率为最高，故通风量能满足CO的卫生标准时，其它有害物成份均在可容许范围内。停车库中CO容许浓度规定为0.01以下（居住房间为0.001）。

1.3 CO发生量的确定

车库内CO的发生量可按下列式计算：

$$G=mrqt \quad (3)$$

式中：G—车库的CO发生量；

m—停车库容纳车位（辆）；

t—停车库内汽车平均停车时间，一般为2分钟；

r—汽车出入频率（1小时内进出车量与停车位之比）；

q—每辆小汽车的CO排量（ m^3/min ）。

小汽车CO发生量理论上为排气中CO含有率与总排气量之积，实际上因引擎的排气量、型式、负荷比例、运行状态而异，一般使用实测结果的平均值。表1为汽油发动汽车因运行状态而产生的CO浓度的比例，当为4缸引擎时，总排气量q值可按下列式计算：

$$q=0.4 \xi VN \times 10^{-3} \quad (4)$$

其中：q—总排气量（ m^3/min ）

ξ —负荷比例（全负荷时 $\xi=1$ ）

V—行程容积（L）

N—引擎转速 (r/min)

通常计算时可取 $\xi = 0.5$, $V = 1.5$

$N = 1500$, 故 $q = 0.45 \text{ m}^3/\text{min}$

出入频率一般按统计得的经验数据, 可取 35~55%。

汽油发动机汽车运转条件

与排气中 CO 的比例

运转条件排气中的 CO 容积比率

空转时 1.0-10.0%

加速 (6-40km/h) 0.7-5.0%

定速 (40km/h) 0.5-4.0%

减速 (40-0km/h) 1.5-5.5%

2、确定车库通风量的法规

对于此规定各国不尽相同, 如日本, 对于停车场车库, 停车场面积大于 500m² 时, 如开口面积不足地板面积 1/10, 应采用机械通风, 每平方米每小时需提供 25m³ 以上的新风量; 对室内停车场, 开口面积不足 1/10 时, 换气次数取 10 次/时以上. 美国对于地下车库的通风换气次数建议为 4~6 次/时或按每 m² 面积 4L/s 确定通风量. 对于部分与室外相通的车库, 则应具有 2.5~5% 的开启面积供自然通风之用. 芬兰建筑法规规定办公大楼地下车库最小新风量为 2.7L/s. m². 我国有关技术措施规定, 换气量计算当无计算资料时, 可按排风不小于 6 次/时, 送风不小于 5 次/时作设计依据。

[NextPage] 3、地下停车库的通风装置设计

车库通风要求有全面均匀送风和全面均匀排风的机械通风装置. 排气量应大于进气量, 以便场内有一定的负压, 防止场内空气流入与之相邻的房间. 在布置送风和排风口时, 应防止产生场内局部的气流滞留. 目前, 在我国停车库通风设计中, 依据 GB19-87 及 GB50067-97 中的规定, 常采用上部送风, 上、下部同时排风的系统, 通风换气量为 6 次/h, 此为我国卫生部门的最低标准. 在送回风口布置时, GB19-87 中规定, 对于分子量大于空气分子量的污染物采用三分之一上排风三分之二下排风方式来处理负荷; 分子量小于空气分子量的污染物采用三分之一下排风三分之二上排风方式来处理负荷; 当然从理论上讲, 排出的污染物不应通过人区, 采用完全下部通风量最有力, 但在实际上, 很难做到。

高层建筑内的地下停车场一般均处在交通密集的闹市区, 交通车辆的排气 CO 污染本已严重, 故新风取入口应避开环境较差的区域, 或是将采气口做得较高. 若该地区风速大于 3m/s 以上, 则 CO 浓度与高度关系不大. 此外, 进排气塔与建筑物一般都较邻近, 故噪声问题亦应予以关心. 停车库风机一般风量较大, 风压较小, 故都采用轴流风机. 风机运行时间长, 全年不停, 从节能考虑, 应选择运行效率高的风机, 我国在工程中也有采用混流风机代替轴流风机, 此外, 也可通过 CO 浓度的监测来调节风量, 以获得较好的经济效果。

在排烟设计方面, 对于 2000m² 以上的停车库, 应考虑有效的机械排烟措施. 我国目前在设计中一般是利用排风系统的上部风口作为排烟风口. 排烟时换气亦为 6 次/h, 此时主要考虑避免由于汽油挥发引起的火灾或爆炸危险, 排烟口及排烟管的风速在火灾时可较日常通风的风速适当提高. 日本在地下车库设计指南中并未规定具体的做法, 建议与消防当局协商确定。

4、诱导通风方式在地下车库中的应用

4.1 问题的提出

仅从计算公式上看, 常规地下车库通风方式在 CO 控制方面可以达到要求. 但实际工程中常因气流短路使车库中 CO 浓度高于卫生标准. 这主要因为以下原因:

首先, 对于常规通风换气系统属于完全混合式换气系统. 但完全混合式换气系统有着其先天的不足, 即经一次换气之后, 其通风有效度(排气之 CO 浓度与换气前空间内 CO 浓度之比)不可能大于 50%, 有时甚至更低. 对于常规通风换气系统其通风有效度不大于 50% 容易理解, 而更低则是因为产生了气的短路, 无法完全混合后再换气而造成的. 短路原因主要因为车库层高要求十分严格, 室内布置送、排风管系统与建筑结构矛盾较大. 对于送回风口位置布置, 设计人员十分被动. 所以难以实现极佳的气流组织.

其次, 因为在常规的系统中还忽略了一个概念, 即呼吸地带浓度. 由于 CO 比较特殊, 分子量与空气相近(空气分子量约为 29), CO 从汽车排气管中排出后, 虽因尾气温度会有一定升腾, 但由于热量相对太小, 立即被平衡掉, 之后 CO 将按浓度梯度自由扩散. 因此在 GB19-87 中规定的针对污染气体分子量与大气分子量的差别采用三分之一上排三分之二下排或三分之一下排或三分之二上排的这两种方式对于 CO 都不十分适合, 由于排风出口风速衰减很快, 没有能力抑制汽车尾气的升腾, 所以此时 CO 会在送风风压和浓度差的共同作用下, 从升腾后的位置开始向上、下回排口移动, 而升腾后的位置正好接近人员的呼吸区, 从而使在人的呼吸地带的 CO 浓度反而高于整个空间的平均 CO 浓度.

再有, 对于常规的通风换气系统, 使用 CO 传感器会发现传统方式在各区段的每个送风口和每个排风口之间 CO 的分布是相同的. 即从送风口到排风口浓度逐步增加. 从而使 CO 浓度曲线沿程为锯齿状, 使人员行经时经过区域的 CO 浓度值反而大于整体平均值.

最后, 对于停车库的 CO 负荷产生并非一个连续稳定的过程. 通常会在上午 8:00 和下午 3:00 出现两个峰值, 且峰谷与峰底值有很大差别. 下午 3:00 时 CO 浓度最高, 这主要因汽车引擎由低温起步效率较低而此时车辆移动难度亦较大的原因. 而常规通风系统由于换气方式的限制, 使之处理尖峰负荷的能力较弱, 通常需很长时间才能把 CO 负荷处理掉.

综上所述, 换气次数 6 次/h 虽为卫生部门的最低卫生标准, 但由于常规系统中的弊病使气流短路; 送、排风口的不连续性使 CO 浓度波动及 CO 密度的特殊性使 CO 集中于呼吸区; 使得依卫生标准的 6 次/h 换气不能达到如期效果. 另外, 还有四个方面的问题较为突出.

- (1) 室内布置送、排风低速风道系统与建筑结构矛盾较大, 往往必须增加地下车库层高, 以致影响到土建投资;
- (2) 风管截面尺寸大, 使车库有压迫感;
- (3) 风管上积聚尘土难以清扫;
- (4) 运行费用较高.

为此, 采用诱导通风系统来代替一般低速风管系统, 便被视作解决这一问题的一种有效途径.

4.2 诱导通风系统的原理及特点:

诱导通风系统是利用高速喷出之少量气体来诱导及搅拌周围之大量空气, 并带动至特定的目标方向. 这个系统是由喷嘴、高压风机、小口径螺旋风管所组成, 对特殊环境或空间能发挥较常规通风系统更佳的效果. 其主要运用理论来自空气动力学中高速喷流的扰动特性, 扰动喷流能够有效的诱导周围静止的空气, 而带动空气流通. 喷流的中心速度由喷嘴出口点起逐渐减低, 但是喷流宽度逐渐增加, 所诱导周围的空气量也逐渐增加, 垂直于中心轴, 各个截面的空气总动量不变. 诱导通风系统在室内利用高速喷口送风, 诱导周围空气, 一方面稀释室内有害气体, 一方面带动室内空气流动, 沿着预设的空气流道行进, 从而确保车库内的良好换气. 这时, 虽然进风和排风风机仍须采用, 但其所需风压远比设有分支管道的低速风道时为小.

其中喷嘴空气出流符合空气动力学中圆断面气体射流的计算公式:

$$V_m/V_0=0.48/(as/d_0+0.147)$$

$$Q_m/Q_0=0.23/(as/d_0+0.147)$$

$$D/d_0=6.8/(as/d_0+0.147)$$

式中: S —距喷嘴距离 (m) a ——为喷嘴紊流系数

V_0 ——喷嘴处气体流速 (m/s) V_m —距喷嘴口 S 米处射流中心线速度 (m/s)

Q_0 ——喷嘴流量 (m³/h) Q_m —距喷嘴口 S 米处射流截面流量 (m³/h)

d_0 ——喷嘴直径 (m) D ——距喷嘴口 S 米处射流截面直径 (m)

以上最为重要数据为 a , 但与紊流系数相关因素很多, 如管路几何尺寸, 断面上速度均匀性, 流体粘度、密度, 脉动速度均方根等. 因此紊流系数很难有准确的计算结果, 大部分为实验值。

[NextPage] 目前, 生产此种产品的厂家不多, 但产品规格不同, 所以紊流系数各不相同, 但其 a 值一般在 0.069 左右. 实际工程中喷嘴的射流为周边受限射流, 因为此过程十分复杂, 所以各公司最终所得对气体射流的描绘公式均为经验公式且各不相同。

4.3 诱导通风系统的性能

对于诱导通风系统, 又称为活塞式换气系统, 各只喷嘴诱导的系统, 形成一面活塞式的气墙, 向前推进, 使其通风有效度理论上可达 100%. 其用于通风换气比常规系统彻底的多. 只要布置好喷嘴的方向和位置可以避免任何位置的空气滞流, 实现有效换气。

再有, 利用对喷射角度的调整可使 CO 随主气流位于地表面不通过人区, 使呼吸地带的 CO 浓度下降. 系统 CO 浓度沿程曲线为向排风口上升的曲线, 但即使 CO 浓度在最高值处, 由于高浓度区位于地表面, 呼吸带 CO 浓度亦低于常规通风系统. 且非锯齿状分布, 处处低于国家卫生标准。

另外, 诱导通风系统具有较高的通风换气效率, 其处理尖峰负荷的能力远远优于常规系统. 通常, 诱导通风系统处理某一尖峰负荷所需的时间仅为常规系统的一半。

诱导通风系统与常规通风系统相比不仅性能优越而且在许多方面都较常规通风系统更具优势. 众所周知, 为避免过大的土方开挖费用, 地下停车库的层高一般较低, 并对暖通设计师常有管路设计空间的限制, 最常见为把送回风管定于从天花板下返 500mm 的范围内. 对于一个层高 3.0m 面积为 2000m² 的防火分区, 6 次/h 的换气次数需 36000m³/h 的风量, 即使管内风速选 8m/s, 主送回风管道的尺寸只有一种选择即 2500mm×500mm, 这样的长宽比无疑是十分浪费的, 并且使水管、电路的配合难度加大. 诱导通风系统所需管径通常为 Φ 200mm, Φ 150mm 可穿梁敷设, 上述烦恼一应而消, 还可进一步降低层高, 大量节约土建费用. 且每套诱导通风系统负担面积相同, 属模块化设计, 可避免水力计算、风口风速核算等繁琐工作, 大大提高设计工作的效率。

常规通风换气系统还有许多缺点, 如泄漏量大, 查补都很麻烦; 设计弹性小, 不适合负荷变化; 全天候运行, 耗电量大; 为保证通畅, 风管须定期清理; 气流流线集中于送回风口, 易出现死角; 机房中有巨型弯头, 消耗较大面积; 施工费用高, 周期长; 风管截面巨大, 车库犹如风管世界, 外观极差……

从系统设置来讲, 诱导通风系统代替了常规通风系统的送风管、下排风管、各种风口阀门和为克服这些阻力的压头, 从而大大减少了电耗. 其耗电量仅为 3w/m². 诱导通风系统结构简单, 系统泄漏可能性小, 即使泄漏, 使用专用热缩封带几分钟即可气密完毕; 其系统设计简单, 变动弹性大, 即使系统施工完毕, 仍可视实际情况增减风量; 由于诱导通风系统使用高速螺旋风管, 基本无需维护; 其气流流线可以据建筑特征布置, 可彻底消灭死角; 诱导通风系统送回风机房面积较小, 一般在一个防火分区内可据车型不同可多规划 1~2 个车位(在

上海市区一个车位售价约为人民币 30 万元），对业主及使用者都有好处；诱导通风系统施工费用低且周期短；其外观加以精心布置，甚至可以起到装饰的作用……

在诱导通风系统使用中，仍保留一条上排风管作为排烟管，此管路专用于排烟系统，所以风速可取 20m/s，风口风速也可选用最高值，可大大缩小截面尺寸。此排烟风机日常通风时停用，可以加大其使用寿命。诱导通风系统的风机箱及风管使用金属材料属不燃烧体，完全符合我国的停车库设计防火规范。

5、构造与布置

诱导型送风装置及其技术最早由瑞典 Flakt 公司开发的。应用于大空间（工厂车间、体育馆、仓库等）的通风空调中，目前应用于车库亦相当广泛。其诱导系统的基本构件一为送风机箱，一为喷嘴装置，极为简单。

送风箱内设直联风机，内作消声处理，风量范围 2400~3600 m³/h，风压为 1600Pa，电机功率为 1.5kw~3.7kw（二极）。喷嘴送出风量为 90~360 m³/h 左右，接管直径 Φ80mm，出口处呈锥形，出口风速 30m/s 左右，其噪声值为 55dB（A）左右。

诱导通风系统布置时主要考虑以下因素：

（1）、设置主干线：由于每个嘴所诱导的风量相同，但地下车库的形状各异，使得车库中主截面亦不相同。因此要设置主干线来保证应有的换气次数，再设置辅助喷嘴对空气进行搅拌。

（2）、防止气流短路：由于地下车库中送回风竖井的布置需综合考虑，所以有时送、排风口相距很近，这时就需要利用喷嘴来虚拟分隔，设置流程，防止短路。

（3）、对电梯间保护：电梯间或其前室为车库中人员停留时间最长的区域，所以应对电梯间或其它进入主楼的入口进行特别考虑。

（4）、设置不同的喷射角度：在布置喷嘴时应考虑因层高不同而给予喷嘴不同的下倾角度和各喷嘴间横向竖向的距离。以保证污染物处于地表面。

（5）、车位的设置：综合考虑车位的分布和车尾（污染物排出处）的方向来布置喷嘴。

6、CO 浓度计算示例。

采用这种方式能否把 CO 稀释到容许浓度，实质上还是取于全面通风时的大小。这可利用前述计算方法作一计算验证。车间体积 50m×46m×4m，有效空间为 8500m²，若用 10 次换气次数，则送风量为 85000m³/h，停车位 70 辆，出入频率为 0.6。

（1）、前已述及，由（4）式，根据一般 ξ 、V、N 的值，可得一辆汽车的排气量为 0.45 m³/min。

（2）、根据表 1，汽车减速时排气中的 co 比率，一辆汽车的 co 发生量 q 为：
 $q=0.45 \times 5.5/100=0.025 \text{ m}^3/\text{min}$

（3）、1 小时全部汽车发生的 co 量可按（3）式计算： $G=0.025 \times 2 \times 70 \times 0.6=2.1 \text{ m}^3/\text{h}$

（4）、由（2）式得排气浓度为： $m1 =0.00297$

计算结果表明，按此风量采用，室内的 CO 浓度将远比容许浓度为低。需要指出，诱导送风的采用是确保空气气流传输、扩散、稀释的一种手段，关键还是总通风量的大小，即在竖井处用风机确定总的换气量。

7、诱导通风的应用前景：

诱导通风技术已有近二十年的历史，在欧洲，东南亚，日本等国，其在车库的使用中已相当广泛。尽管国外各生产厂家对其产品命名不同，如 Jet inducting system, air treatment system, cycle Jet air system 但其均为诱导通风系统。我国目前大量建造高层建筑，在地下车库的设计上，都存在送风方式的方案问题。诱导通风系统较常规系统可以节省大量土方开挖、电耗、日常维护（如：清灰、补漏）等费用，并具更佳的通风效果，因此采用诱导式系统是解决这类矛盾的一种适当途径。