

铁路建筑

北京南站高架层环形车道 汽车尾气计算机模拟分析

铁道第三勘察设计集团有限公司 黄保民[☆] 朱建章

摘要 通过 CFD 模拟计算给出了北京南站高架层环形车道夏季最不利条件下各区域的空气品质。结合国家标准《环境空气质量标准》和香港环保署颁布的《半封闭式公共交通换乘站地区空气污染控制》要求,分析了环形车道内的污染物浓度分布,认为其空气品质基本满足安全卫生要求。根据模拟计算给出了新风取风口的设置位置。

关键词 北京南站 环形车道 汽车尾气 空气品质 模拟

Computer simulation and analysis of automobile exhaust gas in elevated annular traffic lanes of Beijing South Railway Station

By Huang Baomin[★] and Zhu Jianzhang

Abstract Simulates the air quality of different regions in the elevated annular traffic lanes in summer under extremely adverse environmental condition with the CFD software. Starting with requirements specified in the national standard GB 3095-1996 *Ambient air quality standard* and the ProPECC PN 1/98 *Control of air pollution in semi-confined public transport interchanges*, analyses the concentration distribution of contaminants and considers that the air quality of the elevated annular traffic lanes can basically satisfy the safety and health requirements. Based on the simulated result gives the set position of fresh air intakes.

Keywords Beijing South Railway Station, annular traffic lane, automobile exhaust gas, air quality, simulation

★ The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin, China

①

**黄保民****主要设计项目**

- 北京南站改扩建工程
- 石家庄至太原客运专线
- 北京至石家庄客运专线
- 石家庄至郑州客运专线



车的旅客从南北进站厅进站,乘地铁的旅客从地下换乘层进站,乘出租车或私家车等的旅客从高架候车层环形车道进入东西两侧的落客平台进站。南站高架内环形车道两侧是玻璃幕墙,车道南北端头开口,顶面漏空,形成了幕墙与车道围合的半封闭空间。此空间内车流量大,存在大量 CO 和 NO_x

0 引言

北京南站位于崇文区西南角与丰台区右安门地域的交界处,是京沪高速、京津城际和部分普速列车的始发站。北京南站分为地下换乘层、站台层和高架候车层。旅客可通过 3 种方式进站:乘公交

①☆ 黄保民,男,1975 年 10 月生,工学硕士,高级工程师,设备所所长

300251 天津市河北区金沙江路 33 号增 1 号铁道第三勘察
设计集团有限公司建筑分院

(0) 13516210830

E-mail: huangbaomin@tsdig.com

收稿日期:2010-07-20

修回日期:2010-08-13

等有毒有害气体,因此其空气品质的好坏不仅影响环形车道内的空气品质能否满足卫生要求,同时也影响站房内新风取风口的设置。笔者就北京南站环形车道内的空气品质问题会同奥雅纳(ARUP)利用 CFD 软件 STAR-CD 3.26 版进行模拟分析,给出空气品质评价和室内新风口设置建议。图 1 为北京南站 3 层布局的剖面效果图,图 2 为北京南站地上布局分解示意图。

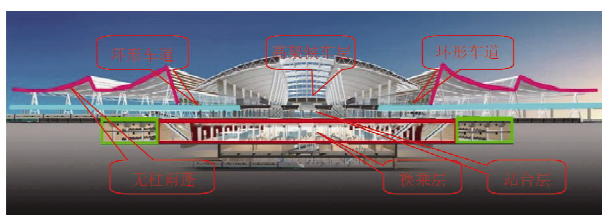


图 1 北京南站 3 层布局剖面效果图

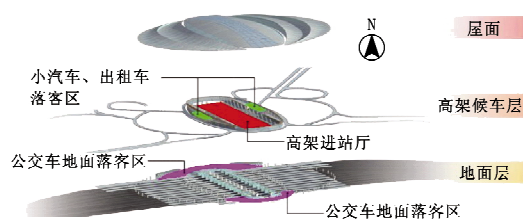


图 2 北京南站地上布局分解示意图

1 CFD 模型建立

建立一个包括北京南站高架候车层的主体建筑、环形雨棚、环形车道、汽车、环形围挡结构在内的三维 CFD 模型,此模型包含了研究范围内所有主要物理特征及边界条件,如主体建筑弧面屋顶、环形车道两侧幕墙等。

由于北京南站体形庞大且外形复杂,整个 CFD 模型的网格数达 100 多万个,模型尺寸为 800 m×750 m×120 m(长×宽×高)。考虑其复杂的几何形状,利用了贴体网格技术进行网格划分。图 3,4 给出了该 CFD 模型的计算域网格及几何形状。模拟采用高雷诺数 $K-\epsilon$ 模型。

2 CFD 模型参数设定

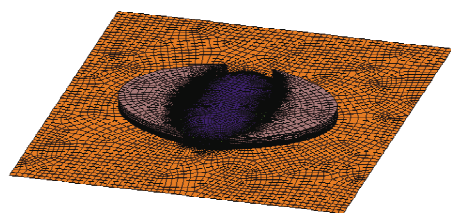


图 3 CFD 模型计算域

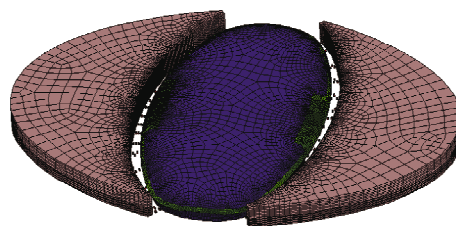


图 4 CFD 模型南站主体建筑、环形围挡及汽车

2.1 汽车尾气污染源设定

通过对车流的模拟分析确定,高架候车层车道内高峰时车流量约为 2 300 辆/h,以每辆车平均速度为 3 m/s 计算,车道内任一时刻约有 170 辆小汽车和出租车。车辆的污染物排放按 GB 18352.2—2001《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(II)》的标准限值计算,每辆车的污染物排放率:CO 为 2.2 g/km, NO_x 为 0.5 g/km^[1]。由于 CO 与 NO_x 在空气中浓度很低,且其分子量与空气相差不大,因此在模型中将其设为完全跟随型(passive)污染物。

2.2 风速设定

北京南站站房和雨棚的南北侧缺口的主方向是西北和东南方向。北京地区冬季以北向和西北向为主导风向(频率为 13%),夏季以北向为主导风向(频率为 9%);全年以春季风速最大,冬季次之,夏季风速最小^[2]。因此模拟中选取最不利工况进行分析,即夏季,东南风向,对应 10.5 m 高度风速为 2.1 m/s。

3 污染物排放标准

国家标准 GB 3095—1996《环境空气质量标准》将环境空气质量功能区分三类:一类区为自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的地区;二类区为城市规划中确定的居民区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区;三类区为特定工业区。环境空气质量分为三级:一类区执行一级标准,二类区执行二级标准,三类区执行三级标准。一氧化碳(CO)和氮氧化物(NO_x)的浓度限值见表 1^[3]。

表 1 GB 3095—1996《环境空气质量标准》中 CO 和 NO_x 的浓度限值

		质量浓度限值/(mg/m ³)		
		一级标准	二级标准	三级标准
氮氧化物 NO_x	年平均	0.05	0.05	0.10
	日平均	0.10	0.10	0.15
	1 h 平均	0.15	0.15	0.30
一氧化碳 CO	日平均	4.00	4.00	6.00
	1 h 平均	10.00	10.00	20.00

考虑到北京南站的地理位置及火车站地区车流密度大的特点,在模拟分析中选取二级标准中的 1 h 平均浓度限值作为评价指标。

4 结果与讨论

4.1 基本工况模拟

由于高架候车层的地面标高为 9.0 m,因此对应于约 1.5 m 的人体高度的标高为 10.5 m,此高度即为需重点研究污染物浓度分布情况的区域高度。

图 5 给出了车道内外的气流组织分布。可以看出,车道内风速明显低于车站外围区域。在车道

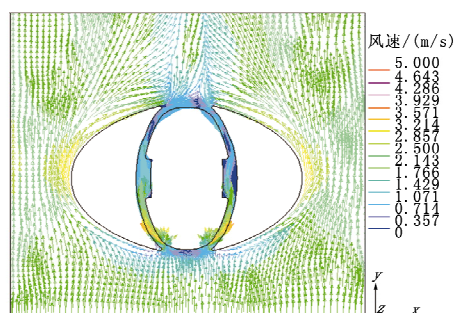


图 5 车道内外气流组织分布 (10.5 m 高度)

入口至入口内 50 m 附近区域,风速约为 2~3 m/s;在车辆停靠区至车道出口区域的下风区,风速明显减小,低于 1 m/s;出了西北口部后风速明显增大,达到 2~3 m/s。这就导致了上风区的污染物

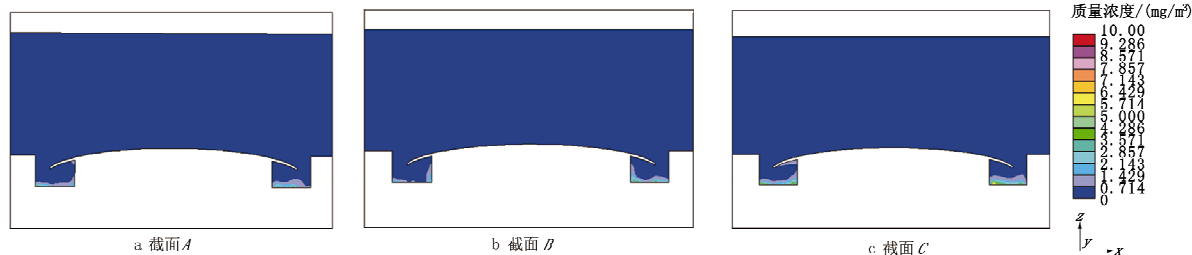


图 7 车道内车辆停靠区 CO 的质量浓度分布

图 8 给出了 10.5 m 高度 NO_x 的质量浓度分布。由图可见,车道内除上风区小部分区域外,绝大部分区域 NO_x 的质量浓度均高于浓度限值,即高于 0.15 mg/m^3 ;车辆停靠区及其下风区质量浓度较高,超过 0.3 mg/m^3 。图 9 给出了停靠区各截面 NO_x 的质量浓度分布,截面位置见图 8。可以看出, NO_x 的质量浓度从上风区至下风区逐渐升高,在竖直方向上随高度增加浓度降低,车道表面附近最高。由于停靠区人员密度较大,因此 NO_x 的浓度分布不满足限值要求。

在风力作用下向下风区扩散,致使车辆停靠区及其下风区的车道内污染物聚集。在车道下风区出口处,由于风速显著增大,聚集的污染物得以稀释,浓度明显降低。图 6 给出 10.5 m 高度 CO 的质量浓度分布。由图可见,车道内绝大部分区域 CO 的质

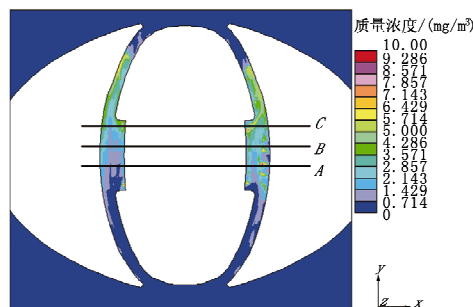


图 6 车道内 CO 的质量浓度分布 (10.5 m 高度)

量浓度均低于浓度限值,即低于 10 mg/m^3 。在上风区,质量浓度基本低于 0.7 mg/m^3 ;至停靠区有所增加,约为 $1.4 \sim 6 \text{ mg/m}^3$,极个别地区由于车辆密集质量浓度略高于 10 mg/m^3 ;在下风区,质量浓度较为均匀,约为 5 mg/m^3 。图 7 给出了停靠区各截面 CO 的质量浓度分布,截面位置见图 6。可以看出,CO 的质量浓度从上风区至下风区逐渐升高,在竖直方向上随高度增加浓度降低,车道表面附近最高。总体来说,CO 的质量浓度分布满足上述限值要求。

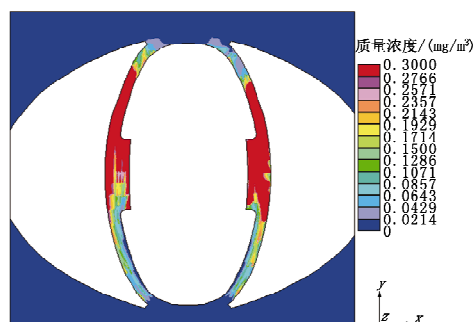
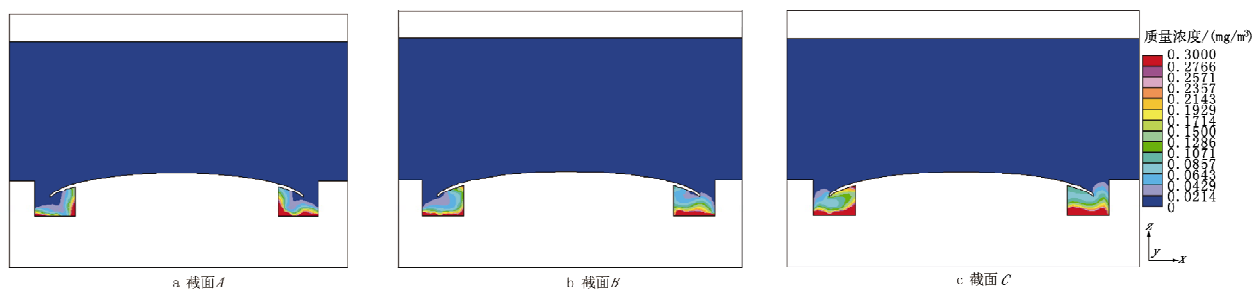


图 8 车道内 NO_x 的质量浓度分布 (10.5 m 高度)

4.2 比较工况模拟:50%车流量

图9 车道内车辆停靠区 NO_x 质量浓度分布

4.2.1 总体浓度分布

由 4.1 节的模拟结果可知,车道内人体高度 CO 的浓度满足 GB 3095—1996《环境空气质量标准》要求,而 NO_x 的浓度则在绝大部分区域超标。因此,笔者将车道内车流量减少一半,即高峰时车辆流量约为 1 150 辆/h 进行模拟比较。

图 10 给出了在车流量减少一半情况下车道内人体高度 CO 的质量浓度分布。可以明显看出,由于车流量减少使得污染源减少,整个车道内 CO 的总体质量浓度进一步降低,基本工况中停靠区部分位置浓度高于限值的现象得以消除,基本上所有区域均满足低于 10 mg/m^3 的限值要求。

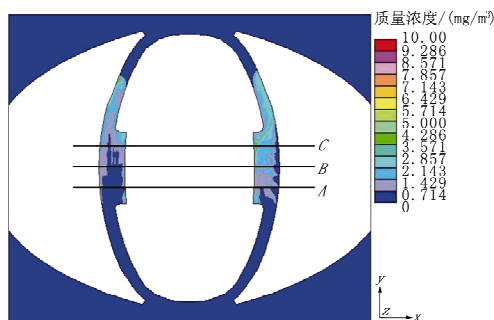
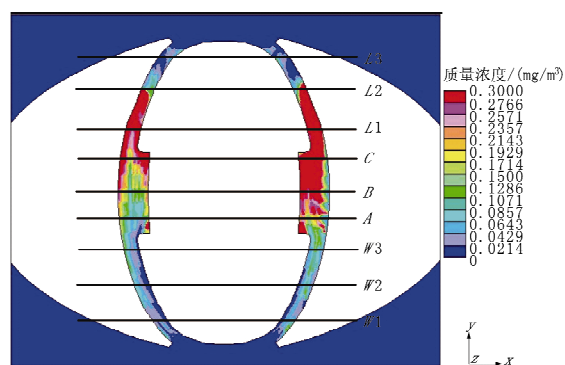


图 10 50%车流量下车道内 CO 的质量浓度分布(10.5 m 高度)

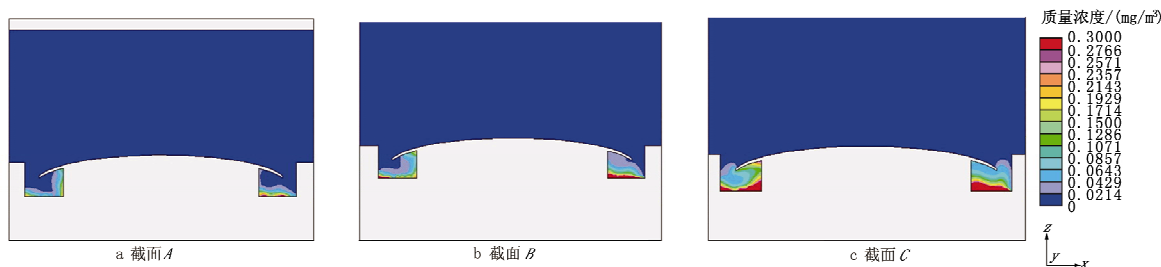
图 11 给出了比较工况下 NO_x 的质量浓度分

布。相对于基本工况,停靠区 NO_x 的质量浓度有所减小,但仍有一大部分区域及下游区高于 0.15 mg/m^3 ,不满足限值要求。

图 11 50%车流量下车道内 NO_x 的质量浓度分布(10.5 m 高度)

4.2.2 停靠区进站大门处 NO_x 的质量浓度分布

图 12 给出了图 11 中截面 A, B, C 处 NO_x 质量浓度分布情况。 NO_x 的质量浓度从上风区至下风区逐渐升高,在竖直方向上随高度增加而降低,车道表面附近由于污染源聚集,浓度最高。相对于基本工况,在停靠区下车并进入车站的乘客所处空气中 NO_x 污染物有显著减小,特别是在截面 A 和 B。而在靠近下风区的截面 C 处, NO_x 浓度仍较高。

图 12 50%车流量下车道内车辆停靠区 NO_x 的质量浓度分布

香港环保署 (Environmental Protection Department) 颁布的 ProPECC PN 1/98《半封闭式

公共交通换乘站地区空气污染控制》(Control of air pollution in semi-confined public transport

interchanges)规定,为保障公众健康,在半封闭式公共交通换乘站内的乘客等候区,空气品质必须满足 1 h 平均和 5 min 平均浓度限值要求。对于其他区域,当乘客停留时间仅为若干 min 时,空气品质至少要满足 5 min 平均浓度限值要求。其相应数据见表 2^[4]。

表 2 香港环保署《半封闭式公共交通换乘站地区空气污染控制》污染物浓度限值

	不允许超过的最大质量浓度限值/(mg/m ³)	
	1 h 平均	5 min 平均
一氧化碳(CO)	30.0	115.0
二氧化硫(SO ₂)	0.8	1.0
二氧化氮(NO ₂)	0.3	1.8

考虑到落客平台仅作为车辆停靠、乘客下车并进入车站用,通常情况下乘客不会逗留,因此该比较工况中污染物浓度可参照 5 min 平均限值。虽然国家标准 GB 3095—1996《环境空气质量标准》中未给出 5 min 平均限值,但参考香港环保署《半封闭式公共交通换乘站地区空气污染控制》,NO₂ 的 5 min 平均限值达到 1 h 平均限值的 6 倍。因此可以认为基本工况和比较工况中停靠区 NO₂ 浓度分布情况是可以接受的,不会对乘客健康造成影响。

另外,需要指出的是,北京南站设计时在落客平台的进站入口处采用了空气幕,以防止停靠区及附近车道的污染物通过入口进入大厅。因此,停靠

区及附近车道的污染物分布情况不会对车站内部环境产生影响。

4.2.3 新风取风口位置

北京南站受建筑局限新风取风口仅能设置于主体建筑侧墙,位于挑出屋顶下方。如前所述,越靠近下风区,污染物在竖直方向上向上方挑出屋顶的扩散趋势越强。因此,新风取风口位置及设置高度成为难题,需要通过模拟计算给出定量的设置要求,避免车道内汽车尾气中的 CO 和 NO_x 通过新风风口进入站内空调系统,进而影响站内空气品质。

图 13 给出了图 11 中上风风向截面 W1, W2, W3 处 NO_x 的质量浓度分布情况。结果显示,上风向的新风取风口可以设置于车站侧墙上任意高度位置,不会引入含高浓度 NO_x 或 CO 的空气。

图 14 给出了图 11 中下风向截面 L1, L2, L3 处 NO_x 的质量浓度分布情况。结果显示,对于紧邻停靠区下风位置直至截面 L1 的车道部分,NO_x 浓度很高,竖直方向上从车道表面直到挑出屋顶下方附近位置均超过限值 0.15 mg/m³。因此建议新风取风口尽量位于高处,最好紧邻挑出屋顶下方,对应标高为 18.5 m。对于从截面 L2 直至下风向车道出入口的车道部分,取风口位置可选择范围较宽,置于距车道表面 5 m 以上即可。

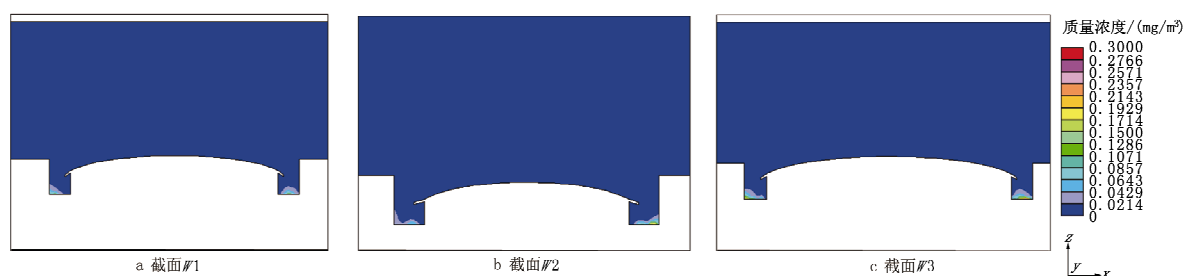


图 13 上风向车道内 NO_x 的质量浓度分布

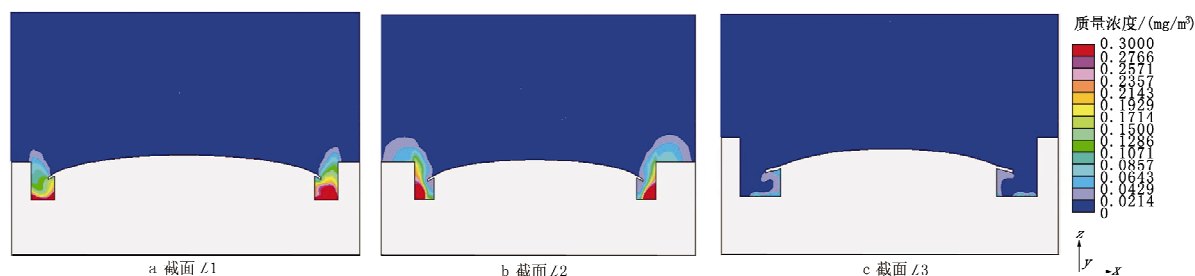


图 14 下风向车道内 NO_x 质量浓度分布

(下转第 33 页)