

文章编号: 1671-6612 (2019) 02-108-04

# 城市特长水下公路隧道顶部开口结合 全射流方案研究

王影 冯炼

(西南交通大学机械工程学院 成都 610031)

**【摘要】** 参考武汉某隧道建立了城市特长水下公路隧道一维通风模型,研究了顶部开口结合全射流方案的通风效果,并分析了隧道参数对通风效果的影响。结果表明:在初始条件下,顶部开口结合全射流方案不能满足原隧道的通风要求;当移动顶部开口段位置至距隧道入口约600m~4500m处、更改风口前隧道长度至 $\leq 4500\text{m}$ 左右或增大隧道断面至 $>81\text{m}^2$ 左右时,才能满足通风要求。

**【关键词】** 城市特长水下公路隧道;顶部开口;全射流;通风效果;隧道参数

中图分类号 U453.5 文献标识码 A

## Research on Top Opening Combined with Full Jet Scheme of Urban Special Long Underwater Road Tunnel

Wang Ying Feng Lian

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

**【Abstract】** Referring to a tunnel in Wuhan, a one-dimensional ventilation model for urban special long underwater road tunnel is established. The ventilation effect of the top opening combined with the full jet scheme is studied, and the influence of tunnel parameters on the ventilation effect is also analyzed. The results show that the top opening combined with the full jet scheme can not meet the ventilation requirements of the original tunnel under the initial conditions; and the ventilation requirements can be met when the top opening section is moving to about 600m-4500m from the tunnel entrance, the length of tunnel before the opening is changed to less than 4500m or the broken area of the tunnel is increased to more than  $81\text{m}^2$ .

**【Keywords】** urban special long underwater road tunnel; top openings; full jet; ventilation effect; tunnel parameters

## 0 引言

为缓解河流周边地区生态环境、交通压力,城市水下公路隧道的研究与建设成为城市轨道交通的热点<sup>[1,2]</sup>,且建设长度日益增加,出现了越来越多的城市特长水下公路隧道。由于该类型隧道长度较长、车流量大,又封闭于水下,导致隧道内排污困难;另外,隧道周边环境保护要求高<sup>[3]</sup>,污染物排出隧道后对洞外环境造成影响。因此在通风方案研究时,需同时满足隧道内、外的

环境要求。全射流方案具有无需通风道和风机房、土建费用低等优点,但仅采用全射流方案,污染物全部从隧道洞口排出,对洞外周边环境造成严重污染;隧道顶部开设自然通风口可分散洞外环境污染<sup>[4]</sup>,但适用长度较短。将二者结合能使隧道通风更加理想化。

Jin Sike<sup>[5]</sup>搭建实验分析了不同顶部开口布置方式下城市隧道的气流速度,得出在恒定的车流量下,顶部开口提供了显著的通风量,并且在

作者简介:王影(1992-),女,在读硕士研究生, E-mail: 1173411263@qq.com

通信作者:冯炼(1964-),女,博士,教授, E-mail: lancyfeng90@163.com

收稿日期:2018-04-28

不同位置的开口呈现不同的通风能力。胡春艳<sup>[6]</sup>计算了开口不同布置方式下城市短隧道内 CO 的分流率及浓度分布情况, 得到顶部开口自然通风可以降低隧道出口处浓度, 减少隧道出口的污染物排放量。

目前国内外对于顶部开口结合全射流方案的研究及经验较少, 因此本文研究顶部开口结合全射流方案对城市特长水下公路隧道的通风效果。

### 1 计算模型的建立

参考武汉某隧道, 建立城市特长水下公路隧道通风一维数值模型, 隧道全长 6522m, 断面积为 72m<sup>2</sup>, 单向三车道。根据初始设计条件, 隧道出口附近 1130m 开设七组共 34 个顶部自然通风口, 每组由 3-6 个风口组成<sup>[7]</sup>, 单个风口尺寸为 7.85m 宽×4m 长。隧道顶部自然通风口布置示意图如下图 1 所示, 将隧道入口算作起点, 至各个通风口的中心位置, 直至隧道出口, 将隧道看成由 35 段组成。

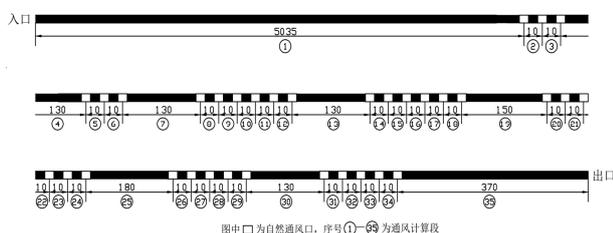


图 1 隧道顶部自然通风口布置示意图(单位:m)

Fig.1 Schematic diagram of the tunnel top natural vent layout

射流风机全部选用 SDS(R)-11.2 型号可逆式风机, 两组射流风机的最小纵向间距为 150m, 因此风口后隧道内可布置的射流风机数量非常有限<sup>[8]</sup>。

### 2 计算结果及分析

#### 2.1 射流风机未开启时通风效果分析

针对原始隧道模型, 射流风机未开启时各车速下隧道内 CO 最高浓度如图 2 所示。

从图 2 可知, 车速 60km/h 工况下隧道内 CO 浓度能够达标; 车速 40km/h 和 20km/h 工况下隧道内 CO 最高浓度远超标准值。因此射流风机未开启时不能满足原隧道的通风要求。

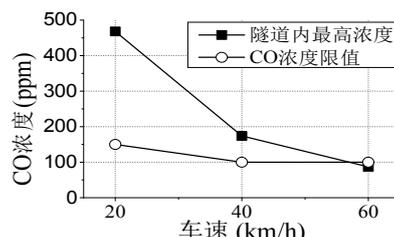


图 2 隧道内 CO 最高浓度

Fig.2 The maximum CO concentration in the tunnel

#### 2.2 射流风机开启时通风效果分析

##### 2.2.1 风量与浓度分布规律

本节以风口后、前分别开启 12 台、60 台射流风机为例, 分析不同车速下通风口风量、隧道风量和隧道内 CO 浓度分布规律如下图 3、4、5 所示。

从图 3、4、5 看出, 风口前射流风机的推力作用使得风口段前端风口的排风量增加, 风口后射流风机的拉力作用使得风口段后端风口的进风量增加; 由于风口前射流风机数量较多, 使得隧道最高风量出现在风口前隧道段, 隧道中间段风量恢复周期性的大小波动现象, 不受射流风机影响; 隧道内 CO 最高浓度出现在自然通风口段前端, 距离隧道入口 5400m 的位置, 射流风机作用使得隧道内 CO 最高浓度远低于未开启射流风机工况。

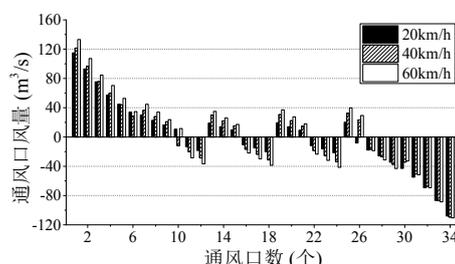


图 3 各个通风口风量

Fig.3 Air volume of each air vent

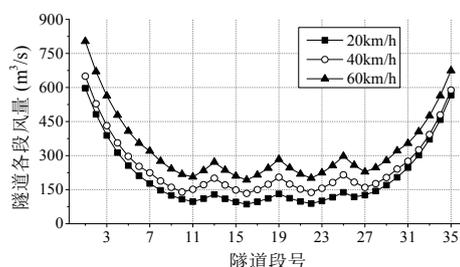


图 4 隧道各段风量

Fig.4 Air volume in each section of the tunnel

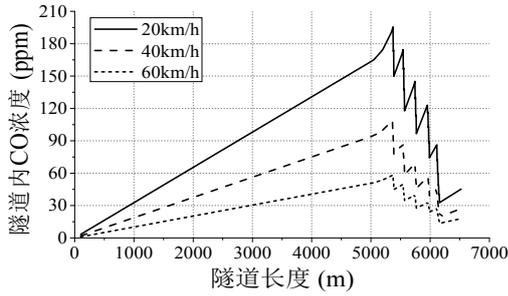


图 5 隧道内 CO 浓度分布

Fig.5 Concentration distribution of CO in tunnel

2.2.2 不同射流风机数量下通风效果

上文得出车速 60km/h 时无需开启射流风机即可满足通风要求。本节分析车速 40km/h 和 20km/h 时, 风口后分别开启 0 台、2 台、4 台、8 台、12 台射流风机时, 达标所需风口前射流风机数量及达标时隧道内 CO 最高浓度、最高风速, 如表 1 所示。

表 1 不同射流风机数量下计算结果

Table 1 Results under the number of different jet fans

车速 (km/h)	风口后数量 (台)	风口前数量 (台)	CO 最高浓度 (ppm)	最高风速 (m/s)
40	0	78	99.6	9.99
	2	78	99.6	9.99
	4	78	99.6	9.99
	8	78	99.6	9.99
	12	78	99.6	9.99
20	0	152	149.9	11.43
	2	134	149.8	10.96
	4	134	149.8	10.96
	8	134	149.8	10.96
	12	134	149.8	10.96

从表 1 看出, 车速 40km/h 工况下, 风口段后分别开启 0 台、2 台、4 台、8 台、12 台射流风机时, 达标所需的风口前射流风机数量相同, 均为 78 台, 隧道最高风速均 ≤ 10m/s。可见, 当风口后开启 0 台射流风机时达标所需的射流风机总数量最少, 为 78 台。因此, 车速 40km/h 工况下, 只需在自然通风口段前开启 78 台射流风机, 顶部开口结合全射流方案便能够满足原隧道的通风要求。

车速 20km/h 工况下, 风口后开启 0 台射流风机时, 达标所需的风口前射流风机数量为 152 台; 风口后分别开启 2 台、4 台、8 台、12 台射流风机时, 达标所需的风口前射流风机数量均为 134 台。可见, 风口段后射流风机数量为 2 台时, 达标所需的射流风机总数量最少, 隧道最高风速最小, 但超过了 10m/s。因此, 车速 20km/h 工况下, 顶部开口结合全射流方案不能满足原隧道的通风要求。

综上所述得出结论, 在目前设计条件下, 顶部开口结合全射流方案不能满足原隧道的通风要求。

2.3 通风效果影响因素分析

2.3.1 顶部开口段位置对通风效果影响

当顶部开口段位置改变时, 隧道内气流组织发生变化, 风口前后射流风机数量的布置方案改变, 导致达标所需的射流风机数量和达标时最高风速不同。本节分析顶部开口段距隧道入口 362m、1000m、2000m、3000m、4000m、5030m 时, 不同方案下达标时隧道最高风速的最小值, 如图 6 所示。

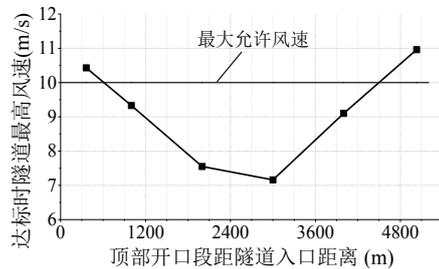


图 6 不同位置下达标时隧道最高风速

Fig.6 Maximum wind speed of different tuyere position

从图 6 发现, 顶部开口段距隧道入口 600m~4500m 时, 达标时隧道最高风速 ≤ 10m/s; 顶部开口段距隧道入口 3000m 时, 达标所对应的隧道最高风速值最小。因此, 满足隧道通风要求的顶部开口段位置为: 距隧道入口 600m~4500m; 顶部开口段的最佳位置为: 距隧道入口 3000m。

2.3.2 隧道长度对通风效果的影响

当风口后隧道长度保持 362m 不变时, 仅改变风口前的隧道长度, 取 3000m、3500m、4000m、4500m、5030m, 分析风口前隧道长度对通风效果的影响。图 7 为风口前不同隧道长度下, CO 浓度达标时隧道最高风速的最小值。

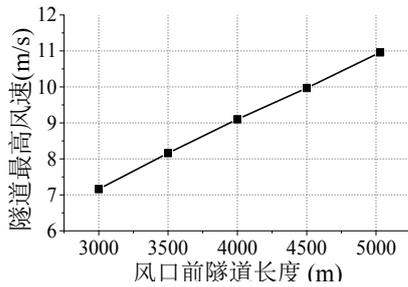


图 7 达标时隧道最高风速

Fig.7 Maximum wind speed when reaching the standard

从图 7 看出, 风口前隧道长度越长, 达标时隧道最高风速越大。当风口后隧道长度不变时, 风口段前隧道长度需小于 4500m 左右, 达标时隧道最高风速 $\leq 10\text{m/s}$ , 顶部开口结合全射流方案能够满足隧道通风要求。

下文通过改变风口后隧道长度, 得到能够满足隧道通风要求的风口前隧道长度。风口后隧道长度分别为 100m、362m、700m、1000m、2000m、3000m 时, 能够满足隧道通风要求的风口前最大隧道长度如下表 2 所示。

表 2 风口后不同隧道长度下通风效果

Table 2 Ventilation effect of different length after tuyere

风口后隧道长度 (m)	满足要求的风口前隧道长度 (m)
100	4500
362	4500
700	4500
1000	4500
2000	4500
3000	4500

从表 2 可知, 当风口后隧道长度在一定范围内变化时, 对隧道通风效果没有影响, 风口前隧道长度均需 $\leq 4500\text{m}$ 即可满足隧道通风要求。因此在目前顶部开口参数下, 只需更改隧道长度保证风口前隧道长度 $\leq 4500\text{m}$ 即可满足隧道通风要求。

### 2.3.3 隧道断面积对通风效果影响

汽车对隧道的阻塞比越大, 活塞风速越大<sup>[9]</sup>。隧道断面积改变时, 阻塞比改变, 导致活塞风速及隧道风量改变, 从而影响达标所需射流风机数量和达标时隧道最高风速。取隧道断面积在 69~87m<sup>2</sup>之间变化, 间隔 3m<sup>2</sup>取值, 分析不同隧道断面积下, 达标时隧道最高风速的最小值, 如图 8 所示。

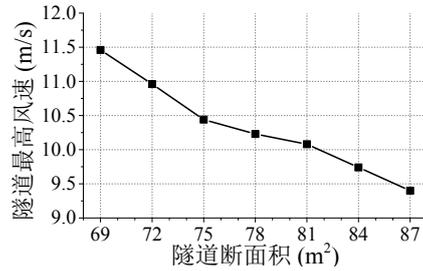


图 8 隧道最高风速

Fig.7 Maximum wind speed in tunnel

从图 8 中看出, 由于隧道断面积越大导致隧道风量越大, 因此 CO 浓度达标时的隧道最高风速值越小。当隧道断面积 $> 81\text{m}^2$ 左右时, 达标所对应的隧道最高风速 $\leq 10\text{m/s}$ , 顶部开口结合全射流方案能够满足隧道通风要求。

### 3 结论

本文研究了顶部开口结合全射流纵向通风方案对城市特长水下公路隧道的通风效果, 并分析了不同隧道参数对通风效果的影响, 得出以下结论:

(1) 针对原始隧道模型, 未开启射流风机时无法满足原隧道的通风要求; 开启射流风机时, 在初始设计条件下, 顶部开口结合全射流方案也不能满足原隧道的通风要求;

(2) 通过改变隧道参数, 当移动顶部开口位置至距隧道入口约 600m~4500m 处、更改开口前隧道长度至 $\leq 4500\text{m}$ 左右或增大隧道断面积至 $> 81\text{m}^2$ 左右时, 顶部开口结合全射流方案才能满足隧道的通风要求。

### 参考文献:

- [1] 邓欣. 水下特长公路隧道通风技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- [2] 佚名. 中国代表性跨海海底隧道工程[J]. 科技导报, 2016(21): F0003.
- [3] 吕锦刚, 蒋乐, 周俊. 风景区特长湖底城市隧道特点与关键技术创新[J]. 城市道桥与防洪, 2014(3): 22-24.
- [4] Huo Z, Long E, Wang J. Influence of Urban Highway Tunnel Upper Vents Groups Number on Natural Ventilation Efficiency[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2014, 263: 357-363.

(下转第 118 页)