

文章编号: 1002-0268 (2008) 10-0105-05

公路隧道通风 CO、烟雾基准 排放量折减率研究

郭 春¹, 王明年¹, 李玉文², 田尚志², 周仁强²

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031;

2. 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院, 四川 成都 610041)

摘要: 针对公路隧道通风设计环节需风量计算是整个设计的基本依据, 而计算中 CO 及烟雾基准排放量折减率的取值对远期需风量影响很大这一特点, 列举分析机动车排放污染物组成、欧盟汽车排放标准限制值以及 PIARC 对机动车的排放规定, 得出我国汽车排放标准沿袭欧盟法规的进度和实施现行排放标准的 4 个阶段时间划分。通过对 CO、烟雾年折减系数取值以及 CO、烟雾基准排放量折减的分析, 结合国内严格的排放限制无论从国内外环保要求, 还是汽车工业技术的发展进步以及法律法规的规定, 目前我国《公路隧道通风照明设计规范》所规定的 1%~2% 年折减率均是偏于保守的, 在实际隧道通风设计中应综合分析, 因“隧”制宜, 将需风量在保证运营安全的情况下控制在合理的范围内。

关键词: 隧道工程; 折减率; 对比分析; 基准排放量; CO; 烟雾

中图分类号: U453.5

文献标识码: A

Research on Discount Rate of CO and Smoke Baseline Emission in Road Tunnel Ventilation

GUO Chun¹, WANG Ming-nian¹, LI Yu-wen², TIAN Shang-zhi², ZHOU Ren-qiang²

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610031, China;

2. Highway Planning, Survey, Design and Research Institute of Sichuan Provincial Communications
Department, Chengdu Sichuan 610041, China)

Abstract: It is known that calculating the required amount of air is the rationale of the whole design of road tunnel ventilation and defining the discount rate of CO and smoke baseline emission has also generates a great effect on the long-term required amount of air. In terms of this, through listing and analyzing the components of vehicle pollutant discharge, emission standards of pollutants from cars in EU and discharge standards prescribed by PIARC, it was turned out that the emission standards of vehicle pollutants in China should follow that of EU and should be divided into four stages. By analyzing the annual discount coefficient values and the standard emission discount of CO and smoke, considering the legal provisions in China for strict limitation of the emission of CO and smoke from vehicles, development of automotive technology and domestic and overseas environmental requirements, it was suggested that at present the 1%~2% discount rate which set according to China's *Specifications for Design of Ventilation and Lighting of Highway Tunnel* is conservative. Therefore, a synthetic analysis should be made in real tunnel ventilation design and confining the required amount of air within a rational scope to ascertain the tunnel operation safety.

Key words: tunnel engineering; discount rate; comparison and analysis; baseline emission; CO; smoke

收稿日期: 2007-07-04

基金项目: 交通部西部交通建设科技资助项目 (2006318000104)

作者简介: 郭春 (1979-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士, 从事隧道、地下工程结构、防灾研究。(chunguoline@sohu.com)

0 引言

随着我国公路建设的发展,长大公路隧道大幅增加,隧道通风问题越来越引起人们的关注。在进行公路隧道通风设计中,从保障交通运营安全和人体健康考虑,要求控制汽车在隧道中所排放的污染物^[1]。

长大公路隧道必须设置机械通风^[2],通风系统的主要作用之一是用新鲜空气稀释隧道中车辆排放的污染物,使其浓度保持在允许限度内,通风系统的规模与隧道需风量的大小有关。影响公路隧道需风量确定的因素很多,如隧道的结构特性、交通量、交通组成以及环保要求等^[3~7]。

计算机动车污染物排放量是一个重要环节,也是整个隧道通风系统设计的基本依据。污染物排放量计算中又以交通量与污染物基准排放量为最主要参数,而污染物基准排放量的确定又必须要与设计年限相匹配,否则所计算出的需风量必定过大,将会增加通风系统的投入,浪费建设资金。《公路隧道通风照明设计规范》^[8]采用的基准排放量是以1995年为起点,并按每年1%~2%的折减率计算获得的排放量作为设计年限基准排放量。

随着机动车生产技术的日益进步,以及国家关于机动车排放标准的不断严格,目前通风设计计算中对污染物基准排放量所采用的年1%~2%折减率取值已经过于保守,有必要对其进行分析研究,从而得出更为可靠、经济的折减率取值。

1 机动车排放污染物组成

机动车发动机将蕴藏在燃油中的化学能转换成机械能。燃油被喷射进入气缸中,与空气混合燃烧,理论上燃料完全燃烧后,排出的废气应为二氧化碳(CO₂)、氮气(N₂)和水蒸气(H₂O)。由于燃料的成分并非简单的碳氢化合物,发动机的燃烧过程也非常复杂,因而排放的废气中除上述物质外,还含有大量的一氧化碳(CO)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO_x)、二氧化硫(SO₂)、微粒(PM)和其他杂质等,这些物质对人类和整个生态环境危害极大。

汽油机与柴油机所排放的微粒是不同的,汽油机排出的主要是铅化物、未完全燃烧的燃油、润滑油和添加剂等组成的低分子碳氢化合物;柴油机排出的主要是碳烟和高分子有机物,而且其数量是汽油机的30~70倍,是微粒治理的重点。碳烟是柴油机的主要排放物,80%~90%的微粒为碳氢化合物,由于其粒径极小,约为0.01~2.0 μm,能长期悬浮于空气

中,容易通过呼吸系统而沉积于肺泡内,极具致癌作用,在所有废气污染物中,其毒性最大。

2 我国柴油汽车PM排放量限值的变化

我国的包括柴油车在内的所有机动车辆的排放体系都是采用欧盟的排放标准,根据欧盟关于柴油车PM排放标准的实施进度,每隔4a将进行一次的加严,从欧盟的Euro1排放法规实施以来,目前已经制定了2005年实施Euro4排放法规。而我国国家的排放标准在2000年开始等同采用Euro1排放法规,目前与欧盟的差距在6a左右,这个差距估计在未来的20a内不会有太大的变化^[9,10],因此预计我国的柴油车排放标准沿袭欧盟法规的进度应如表1所示。

表1 柴油车排放标准沿袭欧盟法规的进度表

Tab. 1 Schedule of diesel vehicle emission standards that follow the progress of EU

阶段	欧盟法规 实施进度	我国排放 控制进度	我国相应的 国家标准代号
Euro1	1994	2000	GB 18352.1-2001 GB 17691-2001
Euro2	1998	2004	GB 18352.2-2001
Euro3	2002	2007	GB 18352.3-2001
Euro4	2006	2012	GB 17691-2005

欧盟关于柴油车PM排放标准每隔4a将进行一次的加严,各种柴油卡车PM排放标准汇总见表2。图1~图3为我国各种柴油车等效欧盟排放标准的示意图,相应阶段标准见表2。从表2、图1~图3的数据可得:2000~2012年,柴油车的尾气排放限制值下降比例非常大,具体数值见表3。

表2 欧盟柴油汽车排放标准限制值(单位:g/km)

Tab. 2 EU restriction value of diesel vehicle emission standards (unit: g/km)

类型	Euro1	Euro2	Euro3	Euro4
柴油轿车	0.14	0.08	0.05	0.025
轻型柴油卡车 N1	0.14	0.1	0.05	0.025
轻型柴油卡车 N2	0.19	0.15	0.07	0.04
轻型柴油卡车 N3	0.25	0.2	0.1	0.06
重型柴油车 < 85 kW	0.61	0.25	0.1	0.02
重型柴油车 > 85 kW	0.36	0.15	0.1	0.02

从表3的计算结果来看,各类柴油车的PM限制值的降幅均大于75%。柴油汽车的PM排放量的快速降低使得烟雾基准排放量也呈快速下降趋势。我国实行改革开放以来,汽车发达国家已在我国合资建厂制造新型车辆,且已大量投入生产和使用。根据我国最新的《汽车报废标准》^[11]规定:轻、微型载货汽车(含越野型)、带拖挂汽货车、矿山作业车及各类出租

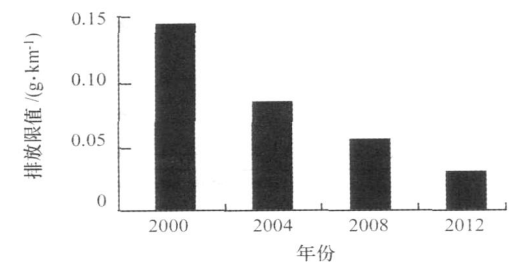


图 1 柴油轿车 PM 的排放限制值

Fig. 1 PM restriction value for diesel car emission

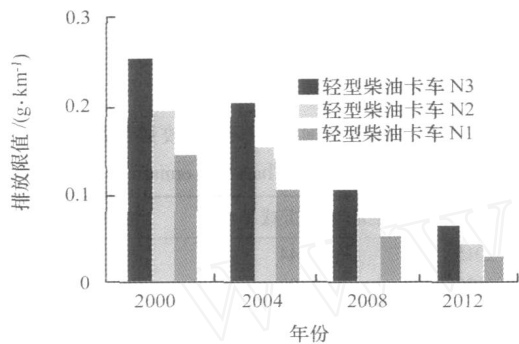


图 2 轻型卡车 PM 的排放限制值

Fig. 2 PM restriction value for light truck emission

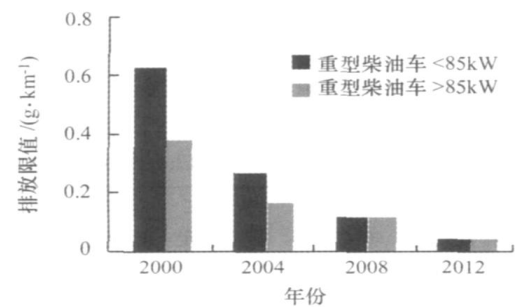


图 3 重型柴油轿车和客车 PM 的排放限制值

Fig. 3 PM restriction value for heavy diesel car and bus emission

表 3 柴油车尾气排放限制值下降比例

Tab. 3 Descendent proportion of restriction value of diesel vehicles emission

类型	2000 年 PM 限制值/(g·km ⁻¹)	2012 年 PM 限制值/(g·km ⁻¹)	下降比例/ %
柴油轿车	0.14	0.025	82
轻型柴油卡车 N1	0.14	0.025	82
轻型柴油卡车 N2	0.19	0.04	79
轻型柴油卡车 N3	0.25	0.06	76
重型柴油车 < 85 kW	0.61	0.02	97
重型柴油车 > 85 kW	0.36	0.02	94

车使用 8 a,其他车辆使用 10 a 均作报废处理。我国将于 2012 年实施等效 Euro4 的排放标准,到 2022 年所有柴油车(包括在用车和新生产车)都将达到 Euro4 标

准,综合考虑各型柴油车烟雾排放的下降比例,即:从 2000~2022 年,柴油车的烟雾排放将累计下降至少 76%,年平均 3.45%。

3 CO、烟雾年折减系数取值的考虑

《公路隧道通风照明设计规范》采用的基准排放量是以 1995 年为起点,并按每年 1%~2%的折减率计算获得的排放量作为设计年限基准排放量。而实际折减率必须要考虑不同时期国家相关规范所作的规定^[12]。

我国机动车排放标准不断加严,排放标准与欧盟排放标准的对比如图 4 所示。我国实施现行排放标准分为 4 个阶段:

- (1) 第 1 阶段从 2000~2004 年实施的限值相当于欧洲 1993 年 10 月实施的 ECE/MVEG-1 号法规的控制水平;
- (2) 第 2 阶段从 2004~2007 年实施的限值相当于欧洲 1996 年 10 月实施的 ECE/MVEG-2 号法规的控制水平;
- (3) 第 3 阶段从 2007 年起实施相当于欧洲 2000 年 10 月实施的 ECE/MVEG-3 号法规的控制水平;
- (4) 第 4 阶段从 2010 年起实施 ECE/MVEG-4 号法规的控制水平,欧洲于 2004 年 10 月起执行 ECE/MVEG-4 号法规。到时 2010 年基本实现与欧洲排放法规接轨。

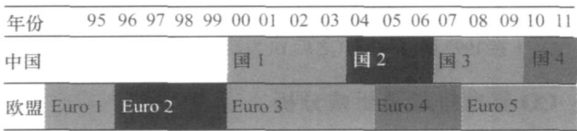


图 4 1995~2010 年我国排放标准与欧洲排放标准

Fig. 4 Comparison of exhaust standard between China and EU (1995~2010)

表 4 欧盟乘用车排放标准 (M1 类^{*}) (单位: g/km)

Tab. 4 EU passenger vehicle exhaust standard (M1^{*}) (unit: g/km)

阶段	日期	CO	HC	HC + NO _x	NO _x	PM
柴油车						
Euro 1 ^{**}	1992. 07	2. 72 (3. 16)	-	0. 97 (1. 13)	-	0. 14 (0. 18)
Euro 2	1996. 01	1	-	0. 7	-	0. 08
Euro 3	2000. 01	0. 64	-	0. 56	0. 5	0. 05
Euro 4	2005. 01	0. 5	-	0. 3	0. 25	0. 025
汽油车						
Euro 1 ^{**}	1992. 07	2. 72 (3. 16)	-	0. 97 (1. 13)	-	-
Euro 2	1996. 01	2. 2	-	0. 5	-	-
Euro 3	2000. 01	2. 3	0. 2	-	0. 15	-
Euro 4	2005. 01	1	0. 1	-	0. 08	-

注: *不包括超过 2 500 kg,满足 N1 类标准的乘用车; **括号内数值指生产一致性限值(conformity of production,COP)。

表 5 欧盟针对轻型车排放标准(N1 类) (单位 :g/km)

Tab. 5 EU light vehicle exhaust standard(N1) (unit :g/km)

类别	阶段	日期	CO	HC	HC + NO _x	NO _x	PM
柴油车							
N1 ,Class I < 1 305 kg	Euro 1	1994. 1	2. 72	-	0. 97	-	0. 14
	Euro 2 ,IDI 1998. 01		1	-	0. 7	-	0. 08
	Euro 2 ,DI1998. 01 *		1	-	0. 9	-	0. 1
	Euro 3	2000. 01	0. 64	-	0. 56	0. 5	0. 05
N1 ,Class II 1 305 ~ 1 760 kg	Euro 4	2005. 01	0. 5	-	0. 3	0. 25	0. 025
	Euro 1	1994. 1	5. 17	-	1. 4	-	0. 19
	Euro 2 ,IDI 1998. 01		1. 25	-	1	-	0. 12
	Euro 2 ,DI1998. 01 *		1. 25	-	1. 3	-	0. 14
N1 ,Class III < 1 760 kg	Euro 3	2001. 01	0. 8	-	0. 72	0. 65	0. 07
	Euro 4	2006. 01	0. 63	-	0. 39	0. 33	0. 04
	Euro 1	1994. 1	6. 9	-	1. 7	-	0. 25
	Euro 2 ,IDI 1998. 01		1. 5	-	1. 2	-	0. 17
N1 ,Class III < 1 760 kg	Euro 2 ,DI1998. 01 *		1. 5	-	1. 6	-	0. 2
	Euro 3	2001. 01	0. 95	-	0. 86	0. 78	0. 1
	Euro 4	2006. 01	0. 74	-	0. 46	0. 39	0. 06
汽油车							
N1 ,Class I < 1 305 kg	Euro 1	1994. 1	2. 72	-	0. 97	-	-
	Euro 2	1998. 01	2. 2	-	0. 5	-	-
	Euro 3	2000. 01	2. 3	0. 2	-	0. 15	-
	Euro 4	2005. 01	1	0. 1	-	0. 08	-
N1 ,Class II 1 305 ~ 1 760 kg	Euro 1	1994. 1	5. 17	-	1. 4	-	-
	Euro 2	1998. 01	4	-	0. 65	-	-
	Euro 3	2001. 01	4. 17	0. 25	-	0. 18	-
	Euro 4	2006. 01	1. 81	0. 13	-	0. 1	-
N1 ,Class III < 1 760 kg	Euro 1	1994. 1	6. 9	-	1. 7	-	-
	Euro 2	1998. 01	5	-	0. 8	-	-
	Euro 3	2001. 01	5. 22	0. 29	-	0. 21	-
	Euro 4	2006. 01	2. 27	0. 16	-	0. 11	-

注 : *在 1999. 09. 30 之前(之后 DI 发动机必须达到 IDI 限值)。

4 CO 基准排放量折减分析

我国从 2000 年开始实施新标准 ,至 2010 年与欧洲接轨 ,这段时期内的 CO 基准排放量年递减量见表 6、图 5。

表 6 2000 ~ 2010 年我国 CO 基准排放量情况表

Tab. 6 CO baseline emission in China (2000 ~ 2010)

年份	柴油车 排放规定 /(g km ⁻¹)	平均 年递减率 /%	汽油车 排放规定 /(g km ⁻¹)	平均 年递减率 /%	规范 年递减率 /%
2000	2. 72	15. 81	2. 72	4. 78	2
2001	2. 72	15. 81	2. 72	4. 78	2
2002	2. 72	15. 81	2. 72	4. 78	2
2003	2. 72	15. 81	2. 72	4. 78	2
2004	1	12. 00	2. 2	- 1. 52	2
2005	1	12. 00	2. 2	- 1. 52	2
2006	1	12. 00	2. 2	- 1. 52	2
2007	0. 64	7. 29	2. 3	18. 84	2
2008	0. 64	7. 29	2. 3	18. 84	2
2009	0. 64	7. 29	2. 3	18. 84	2
2010	0. 5		1		

由此可以看到 ,近期内我国 CO 基准排放量的降

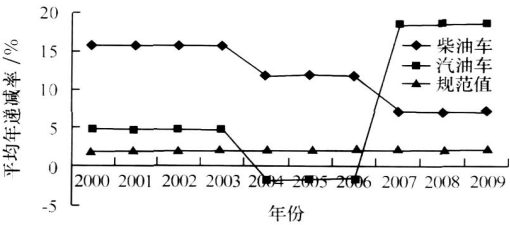


图 5 2000 ~ 2010 年我国 CO 基准排放量平均年递减率

Fig. 5 Annual average decline rate of

CO baseline emission in China (2000 ~ 2010)

低速度是相当快的 ,远远大于规范所规定的 2 %的折减率。对于远期 ,则如表 7 所示 ,均大于规范所规定的 2 %的折减率。

表 7 远期我国 CO 基准排放量情况表

Tab. 7 Long-term CO baseline emission in China

起止年份	柴油车年折减率/%	汽油车年折减率/%
2000 ~ 2015	5. 44	4. 22
2000 ~ 2020	4. 08	3. 16
2000 ~ 2025	3. 26	2. 53

5 烟雾基准排放量折减分析

烟雾主要组成成分为 HC、NO_x 和 PM。我国从 2000 年开始实施新标准至 2010 年与欧洲接轨 ,这段时期内的烟雾基准排放量年递减量见表 8。

表 8 2000 ~ 2010 年我国烟雾基准排放量情况表

Tab. 8 Smoke baseline emission in China (2000 ~ 2010)

年份	柴油车 排放规定 /(g km ⁻¹)	平均 年递减率 /%	汽油车 排放规定 /(g km ⁻¹)	平均 年递减率 /%	规范 年递减率 /%
2000	0. 97	6. 96	0. 97	12. 11	2
2001	0. 97	6. 96	0. 97	12. 11	2
2002	0. 97	6. 96	0. 97	12. 11	2
2003	0. 97	6. 96	0. 97	12. 11	2
2004	0. 7	12. 38	0. 5	20. 00	2
2005	0. 7	12. 38	0. 5	20. 00	2
2006	0. 7	12. 38	0. 5	20. 00	2
2007	0. 56	15. 48	0. 2	16. 67	2
2008	0. 56	15. 48	0. 2	16. 67	2
2009	0. 56	15. 48	0. 2	16. 67	2
2010	0. 3		0. 1		

由此可以看到 ,近期内我国烟雾基准排放量的降低速度是相当快的 ,远远大于规范所规定的 2 %的折减率。对于远期 ,则如表 9 所示 ,均大于规范所规定的 2 %的折减率。

表 9 远期我国烟雾基准排放量情况表

Tab. 9 Long-term smoke baseline emission in China

起止年份	柴油车年折减率/%	汽油车年折减率/%
2000 ~ 2015	4. 60	5. 98
2000 ~ 2020	3. 45	4. 48
2000 ~ 2025	2. 76	3. 59

6 结论及建议

国内严格的排放限制将大幅减少机动车的CO、烟雾排放,从2000~2025年,柴油车的CO排放将累计下降至少81.62%,年平均6.31%;汽油车的CO排放将累计下降至少63.24%,年平均3.78%;柴油车的烟雾排放将累计下降至少76%,年平均3.45%;汽油车的烟雾排放将累计下降至少81.44%,年平均6.27%。随着汽车工业技术的进步,机动车污染物的排放也将进一步降低。因此将污染物基准排放量的年折减率取为1%~2%这个范围偏于保守。

污染物基准排放量折减系数在一个具体的公路隧道通风系统设计中如何取值,应该由设计人员根据隧道的断面、长度、纵坡、交通量、交通组成以及环境保护等因素综合考虑。可在综合考虑基础上多选择几种年折减系数进行试算,使隧道需风量的大小在一个合理的水平,在满足隧道营运安全的前提下能够有效地控制隧道通风系统规模,减少营运费用,达到可持续发展的作用。

参考文献:

References:

- [1] 裴海,曹晓光.汽车运用行业标准化和应用[J].中南林业科技大学学报,2007,27(3):155-158.
PEI Hai, CAO Xiao-guang. Standardization and Application of Automobile Application Engineering [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2007, 27 (3): 155 - 158.
- [2] JTGD70-2004,公路隧道设计规范[S].
JTGD70-2004, Design Specifications for Highway Tunnel [S].
- [3] 王生昌,刘浩学,王贺武.基于公路隧道的汽车CO基准排放量试验研究[J].公路交通科技,2004,21(9):153-157.
WANG Sheng-chang, LIU Hao-xue, WANG He-wu. Experiment Study Based on Vehicle CO Criterion Emission Amount in Highway Tunnel [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21 (9): 153 - 157.
- [4] 刘继明,沈欣午.机动车尾气排放检测方法对比分析[J].环境监测管理与技术,2007,19(5):23-25.
LIU Ji-ming, SHEN Xin-wu. The Contrast of Methods for Vehicle Tail Gas Exhaust Test [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2007, 19 (5): 23 - 25.
- [5] 王明年,杨其新,曾艳华,等.秦岭终南山特长公路隧道网络通风研究[J].公路交通科技,2002,19(4):65-68.
WANG Ming-nian, YANG Qi-xin, ZENG Yan-hua, et al. Study on Qinling Zhongnanshan Extra-long Highway Tunnel Network Ventilation System [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2002, 19 (4): 65 - 68.
- [6] 郭小红,甘建国,胡昱.特长公路隧道需风量计算方法研究[J].中南公路工程,2006,31(1):57-60.
GUO Xiao-hong, GAN Jian-guo, HU Yu. Calculation of Highway Long Tunnel Air Volume [J]. Journal of Central South Highway Engineering, 2006, 31 (1): 57 - 60.
- [7] 王明年.秦岭终南山公路隧道综合技术研究-防灾救援技术研究报告[R].成都:西南交通大学,2006.
WANG Ming-nian. Qinling Mount Zhongnanshan Road Tunnel Integrated Technology Research: Road Tunnel Disaster Relief Technology [R]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2006.
- [8] JTJ 026.1-1999,公路隧道通风照明设计规范[S].
JTJ 026.1-1999, Specifications for Design of Ventilation and Lighting of Highway Tunnel [S].
- [9] 龚满英.机动车排放标准发展趋势分析[J].国际石油经济,2001,9(5):21-25.
GONG Man-ying. The Development Trend Analysis of Motor Vehicle Emission Standards [J]. International Petroleum Economics, 2001, 9 (5): 21 - 25.
- [10] 王明年,郭春.大相岭泥巴山隧道通风技术研究调研报告[R].成都:西南交通大学,2006.
WANG Ming-nian, GUO Chun. The Ventilation Technology Research of Daxiangling Mount Nibashan Tunnel [R]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2006.
- [11] 国经贸经(1997)456号,汽车报废标准[S].
GM (1997) No.456, Standards for Discarding Vehicles [S].
- [12] 涂耘.公路隧道通风烟雾基准排放量折减取值的分析[J].公路交通技术,2004(2):75-77.
TU Yun. Analysis on Basic Ventilation Smoke Emission Reduction Value of Highway Tunnel [J]. Technology of Highway and Transport, 2004 (2): 75 - 77.