

上海

环境科学集

上海环境科学编辑部 编

SHANGHAI
HUANJING KEXUEJI

上海科学技术出版社

Shanghai Scientific & Technical Publishers

(第
2
辑)

上海环境科学集(第2辑)

上海环境科学编辑部 编

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

上海环境科学集. 第2辑/上海环境科学编辑部编.
上海:上海科学技术出版社,2009.5

ISBN 978-7-5323-9795-2

I. 上... II. 上... III. 环境科学—上海市—文集
IV. X-125.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 047476 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

新华书店上海发行所经销

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 889×1194 1/16 印张 8.75

字数:250 千字

2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5323-9795-2/X·24

定价:40.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

编 委 会

主 编：李怀正

副 主 编：林卫青

执行副主编：唐东雄

编 委：钟月华 蔡志华

目 次

不同行驶工况下轻型柴油车瞬时排放的 CMEM 模拟对比研究

.....	戴 璞 陈长虹 黄 成 (1)
长兴岛污水处理厂尾水外排影响数值模拟研究.....	陈义中 卢士强 林卫青 (10)
温度和 pH 对填埋场防渗帷幕吸附重金属离子的影响.....	陈永贵 叶为民 张可能 (15)
混合微生物菌群发酵菌肥工艺条件研究.....	宋 鹏 周美红 陈五岭 (19)
强化絮凝-流动床生物氧化组合工艺的运行参数优化研究.....	王建翔 贾 磊 (25)
饮用水源保护区划分体系研究.....	赵宏林 陈东辉 张丽萍 (30)
上海市化工行业危险废物产生特点研究.....	陈 炜 钟声浩 张 龙 (33)
世界“静脉产业”迅速崛起的原因及趋势探讨.....	王爱兰 (38)
2 种典型土壤修复技术的可持续性评价.....	李青青 罗启仕 李小平 (42)
内陆河网温排水预测模型开发及其应用研究.....	卢士强 林卫青 余 江 (49)
固定化混合菌好氧生物降解硝基苯的特性及动力学研究.....	王 静 王 竞 周集体 (54)
城市综合用水量影响因素权重分析法筛选研究.....	孙 勇 徐祖信 (60)
建设项目环境影响评价事后有效性量化研究.....	张 怡 肖亚丽 陆雍森 (63)
环境 CGE 模型的开发方法与应用综述.....	高 颖 (69)
堆肥法处理城市有机垃圾研究综述.....	韦元雅 宋 鹏 陈五岭 (73)

国内外电子废物管理法规比较初探·····	张 龙 陈 炜 钟声浩 (78)
战略环境评价结果进入战略决策过程的初探·····	李建忠 马蔚纯 (83)
生态型住宅区的规划设计与管理初探·····	董 成 吴 健 刘泽峰 (88)
炼焦过程排放挥发性有机物的排放特征和组成分布研究·····	贾记红 陈长虹 黄 成 (92)
长期低强度曝气技术处理黑臭水体的可行性研究·····	赵 振 孙从军 李小平 (100)
新农村建设中的环境问题与规划对策·····	于一凡 李继军 岳宜宝 (105)
国家半导体行业 VOC 排放标准制订研究·····	裴 蓓 邵一平 林卫青 (110)
长江口污染控制区划分研究·····	朱 瑛 程金平 郭广勇 (115)
湿法消解—原子荧光光谱法同时测定地表水中的砷和汞·····	杨 玮 应荣弟 (119)
改性凹凸棒石处理痕量硝基苯废水·····	谢 刚 (123)
景观生态评价法在南京沿江化工开发规划环评中的应用·····	王 冉 钱 瑜 (127)
嗅觉适应对恶臭分析的影响初探·····	蔡云飞 (131)
后记·····	(134)

不同行驶工况下轻型柴油车瞬时排放的 CMEM 模拟对比研究

A Comparison Study on Instantaneous Emission Simulation by CMEM for Light-Duty Diesel Vehicles with Different Driving Cycles

戴 璞 陈长虹* 黄 成 (上海市环境科学研究院, 上海 200233)

Dai Pu Chen Changhong* Huang Cheng (Shanghai Academy of Environmental Sciences,
Shanghai 200233)

摘要 近年来,我国机动车保有量迅猛增加,标准的行驶工况已难以准确反映机动车在实际道路上的行驶状况。采用 CMEM 模型研究不同标准工况下车辆排放的差异,旨在为城市交通环境管理与规划提供技术支持。以轻型柴油车为研究对象,给出了模型关于柴油机的结构和主要输入参数,并将模拟得到的车辆在实际道路上的瞬时排放结果与实测数据进行了验证。检验结果表明,THC、CO、NO_x 排放量的相对误差分别为 14.2%、3.7%、32.7%,其相关系数分别达到 0.73、0.72、0.87,表明 CMEM 模型能够较好地反映车辆在实际道路上排放的瞬时变化。对车辆在日本 10-15 工况、欧洲 ECE 工况、美国 FTP 城区工况及中国上海城市主干道路况上的排放和燃油经济性进行了计算。CMEM 模拟结果发现,污染物排放水平随着车速的提高而下降,特别是超低速段(0~10 km/h)向低速段(10~20 km/h)过渡时,污染物排放水平的变化显著。车辆的加速过程在污染物排放过程中起主导性作用,其对污染物排放的贡献率在 30% 以上,个别甚至超过了 70%。中国上海城市主干道工况的急速过程对 THC 和 CO 的贡献率分别接近 40% 和 30%,其 CO 排放因子分别是欧、美、日的 1.3、1.5、1.4 倍;THC 排放因子分别是欧、美、日的 1.5、2.1、1.9 倍;NO_x 排放因子分别是欧、美、日的 1.2、1.3、1.3 倍。模拟车辆在中国上海城市主干道上的燃油经济性最差,仅为 9.56 km/L。国外行驶工况不能真实地反映我国机动车在实际道路上的行驶状况。

关键词: 轻型柴油车 行驶工况 排放模拟 综合模式排放模型 大气污染物 贡献率

Abstract CMEM (comprehensive modal emissions model) for calculating time based instant emissions from light-duty diesel vehicles and its input parameters were introduced. On-board test data were used to validate the simulation results. The verification showed that relative errors of the emissions of total hydrocarbon, carbon monoxide (CO) and nitrogen oxides (NO_x) were 14.2%, 3.7% and 32.7% whilst their correlation coefficients reaching 0.73, 0.72 and 0.87, respectively. It revealed that the simulation of instantaneous emissions from light-duty diesel vehicles by CMEM well reflected the transient changes in the real driving cycle in Shanghai. The simulation of instantaneous emissions and fuel economies with the test cycles of ECE 15-mode, FTP-mode, Japanese 10-15-mode and the Shanghai arterial road showed that the emissions declined along with the rise of vehicle speed, especially during the transition from the ranges of 0 ~ 10 km/hr to 10 ~ 20 km/hr. The accelerating course dominated the whole emissions contributing to more than 30%, or even over 70% for exception. The contributions of idle condition in the cycle of Shanghai arterial road to the emissions of total hydrocarbon and CO were nearing 40% and 30%, respectively, whilst comparing its emission factors with that of the cycles of ECE-15, FTP and Japanese 10-15 being 1.3, 1.5 and 1.4 times for CO, 1.5, 2.1 and 1.9 times for total hydrocarbon, and 1.2, 1.3 and 1.3 times for NO_x, respectively. The fuel economy for simulated vehicles on the Shanghai arterial road was only 9.56 km/L. It has been concluded that the foreign driving cycles are not suitable for the Shanghai real-road situation.

Key words: Light-duty diesel vehicle Driving cycle Emission simulation

CMEM (comprehensive modal emissions model) Air pollutant Contribution

1 引言

大气中机动车排放的污染物占污染物总排放量的比例越来越大,机动车排气已成为城市大气污染的主要来源^[1]。美国 EPA 推荐使用 Mobile^[2] 和 MOVES^[3] 2 种模型来定量估算机动车污染物的排放量,这些模型考虑了机动车技术参数、运行状况、道路条件、环境条件等对排放的影响。由于车辆的排放因子与机动车的输出功率或行驶工况有着密切关系^[4,5],因此,采用平均排放因子的方法来计算机动车在道路上的排放状况会造成一定的不准确性^[6,7];而基于平均速度得到的排放因子只能说明机动车的平均排放水平,不能反映机动车的实时排放状况^[7],更不适用于机动车在瞬间的排放计算。

近年来,我国机动车保有量发展十分迅速,截止 2007 年 6 月,全国机动车保有量达到 1.528 亿辆,比 2005 年上升了 1.85 个百分点^[8,9]。机动车保有量的迅猛增加,使得城市道路交通日趋拥挤,标准的行驶工况已难以准确反映机动车在实际道路上的行驶状况^[10,11]。因此,采用欧洲标准工况进行国内机动车污染物排放研究一直受到人们的质疑^[6,7,12]。

传统的车辆排放测试方法是采用台架测试或道路实测的方法来获得车辆排放随路况的瞬态变化,但是此类方法对测试条件和器材要求苛刻,且费时费力,难以灵活地应用于微观区域的交通环境管理。

为此,采用综合模式排放模型(CMEM 模型)来研究不同的标准工况下车辆排放的差异,旨在为城市交通环境管理与规划提供技术支持。

2 材料与方法

2.1 CMEM 模型

CMEM 是 1 种对尾气排放物进行参数解析的微观模型,可以用来计算不同类型的轻型车在不同行驶工况下瞬间的尾气排放和燃油消耗,帮助人们从微观的角度来研究单车或综合车队在不同行驶条件下的瞬时燃油消耗和尾气 CO、HC、NO_x、CO₂ 的排放本质,从而得到单车及综合车队尾气污染物的排放因子^[13,14]。

模型要求输入的 2 组参数,分别为可变操作变量和模型参数。模型的输出是尾气排放物排放速率和燃料消耗速率:

$$ER = FR \cdot \left(\frac{g_e}{g_f} \right) \cdot CPF$$

式中, ER —— 尾气瞬时排放速率(g/s);

FR —— 燃料消耗率(g/s);

g_e/g_f —— 发动机单位燃料消耗所产生的污染物排放量(g/g);

CPF —— 催化剂通过分数(%),指发动机污染物排放经催化剂后的尾气排放量。

模型由 6 个模块组成,分别是(1)发动机功率,(2)发动机转速,(3)空燃比,(4)燃料消耗,(5)发动机排放,(6)催化剂通过分数。对于柴油发动机而言,模型认为柴油机没有排放后处理装置,尾气管排放等于发动机排放;此外,由于柴油机的特殊属性,因此没有空燃比控制模块^[15]。

柴油发动机的 CMEM 模型结构见图 1。柴油机排

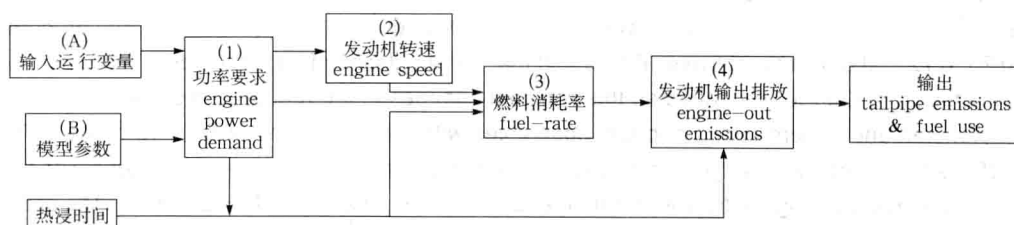


图1 CMEM 中柴油发动机的模型结构示意图

放模型和汽油机模型的区别主要在于燃料消耗和发动机排放输出模块,以及反映柴油机特性的一些发动机和燃油参数。模型中除了包括加速、减速、等速和怠速等工况外,还包括热浸时间、理想运行、富燃运行以及贫燃运行 4 个工况。

2.2 计算模拟工况

世界范围内广泛使用的标准机动车排放测试工况

有 3 种:美国联邦测试程序(Federal Test Procedures, FTP)、新欧洲运转循环(New European Driving

上海市环保基金项目,编号:208312。

第一作者戴璞,女,1984 年生,2006 年毕业于大连海事大学环境科学与工程学院,在读硕士研究生。

*通讯联系人,chench@saes.sh.cn。

该文作者还有贾记红,董艳强。

Cycle, NEDC)和日本行驶工况(JDC)^[16]。FTP 工况由 55% 的城市工况和 45% 的高速工况构成,城市工况的最高车速为 90 km/h,高速工况的最高车速为 100 km/h。相对于 FTP,新欧洲运转循环曲线的速度、加速度相对稳定,它由 4 个城市工况(ECE-15)和 1 个高速工况组成,市区的最高车速为 50 km/h,高速路的最高车速可达 120 km/h。它主要用于在底盘测功机上对轻型车进行法规排放测试。我国现行采用的标准测试工况就是新欧洲运转循环。日本 JDC 工况同样由 4 个城市工况(即 10 工况)和 1 个高速工况(即 15 工况)组成,简称 10-15 工况。从表面上看它和新欧洲运转循环类似,但速度更低,市区的最高时速仅为 40 km/h,高速

公路上的最高速度也只有 75 km/h。

2.3 车辆参数

利用 CMEM 模型模拟时需要输入车辆物理参数和瞬时工况。物理参数包括发动机排量、整车质量、发动机最大功率、发动机最大扭矩等^[14]。本研究模拟的车辆为江铃宝典轻型柴油车,该车装备 JX 493 Q1 型柴油发动机,最大输出功率为 57 kW,整车质量为 1 670 kg,允许总质量为 2 475 kg,车辆出厂年限为 2003 年,符合欧 II 排放标准,累计行驶里程为 48 573 km。CMEM 模型中所对应的车辆类型为第 40 类,其他物理参数输入车辆的实际数据,部分未知参数沿用默认值。模型中输入的各项物理参数见表 1。

表1 模型输入的物理参数

编号	参数	单位	数值	数据来源	描述
1	Sload	r/min	1.187 798	默认值	发动机附加负荷,如空调使用等
2	Tsoak	min	0	实际值	车辆浸滞时间
3	Ed	liter	2.77	实际值	发动机排量
4	Masskg	kg	2 475	实际值	车辆总质量
5	Trlhp	kW	15.37	默认值	车辆惯性滑行功率
6	S	(r·min ⁻¹)/(km·h ⁻¹)	18.77	默认值	发动机转速与车速比
7	SH	格令H ₂ O/磅(干空气)	75	实际值	环境湿度
8	Nm	r/min	2 000	实际值	发动机最大扭矩时的转速
9	Qm	Nm	204	实际值	发动机最大扭矩
10	Zmax	kW	57	实际值	发动机最大功率
11	Np	r/min	3 600	实际值	发动机最大功率时的转速
12	Idle	r/min	867	默认值	怠速时的发动机转速
13	ng	gears	5	实际值	齿轮数

3 结果与讨论

3.1 CMEM 对机动车瞬时排放的再现

为了解 CMEM 模型与实际车辆排放的符合程度,本研究选取文献[17]的行驶工况资料和排放数据对模型进行比对,即将实际车辆参数和实测得到的行驶工况数据输入模型,计算该车辆尾气污染物的瞬时排放状况,并与 SEMTECH-D 的实测结果作比对,结果见图 2。

由图可见,CMEM 模型的模拟结果与 SEMTECH-D 实测结果的变化趋势十分吻合,且模拟值与实测值基本一致,THC、CO 以及 NO_x 的相对误差分别为 14.2%、3.7% 和 32.7%,其相关系数分别为 0.73、0.72 和 0.87。经检验模拟值与实测值显著相关,说明 CMEM 能够较好地反映车辆在实际道路上排放的瞬时变化。该模拟结果与黄成等^[18]的研究结果一致。

3.2 各工况的行驶特征比较

分别选取日本 10-15 工况、新欧洲运转循环中的城区工况(ECE)、美国测试程序(FTP)中的城区工况以及文献[17]中中国上海城市主干道的行驶工况进行排放模拟对比。

研究过程中,将加速度大于 0.1 m/s² 的过程定义为加速,而加速度小于 -0.1 m/s² 的过程定义为减速。匀速则是加速度的绝对值小于 0.1 m/s² 且车速不为零的连续过程。怠速则是发动机处于工作状态,但车速为零的过程。

表 2 给出了输入模型的工况特征值。由表可见,FTP 城区工况平均速度最高,达到 34.1 km/h,最高速度可以达到 91.2 km/h,怠速比最低,不到 20%,这说明其具有较好的道路条件;ECE 工况的怠速比最高,达到 32.99%。中国上海的平均车速最低,仅为 10.3 km/h,怠速比相对近 30%,车辆匀速比较低,而加速和减速比较高,这说明中国上海的车辆在行驶过程中受外界干扰十分频繁,车辆的行进主要是靠频繁加减速来完成的。

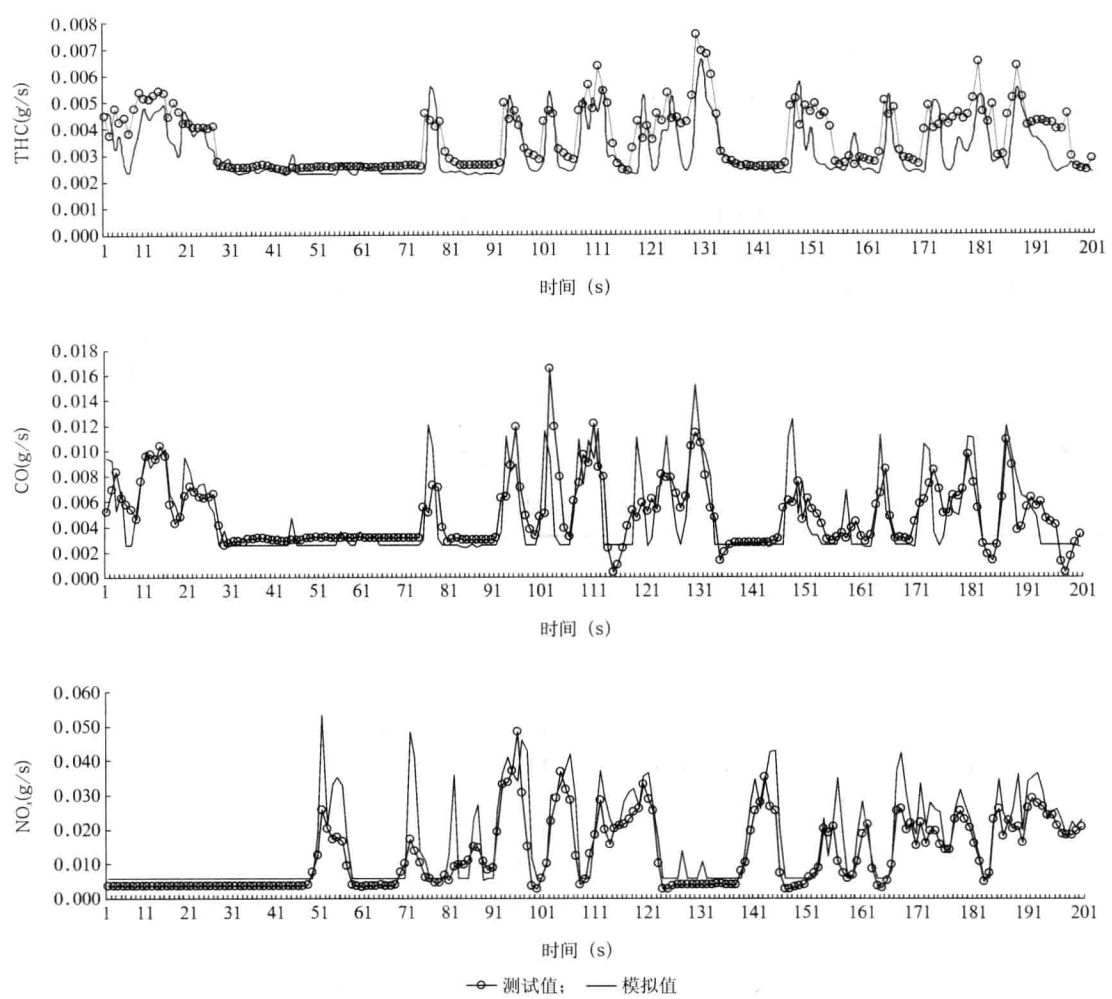


图2 测试车辆污染物瞬时排放速率实测结果与模拟值比较

表2 不同工况的行驶特征值(km/h)

工况类型	平均速度	最高速度	加速过程 平均速度	减速过程 平均速度	匀速过程 平均速度	怠速比 (%)	加速比 (%)	匀速比 (%)	减速比 (%)
日本10-15	27.8	70.0	40.9	33.1	46.1	30.71	27.17	20.92	21.20
欧洲ECE	18.2	50.0	21.9	19.9	34.1	32.99	21.32	28.93	15.86
美国FTP	34.1	91.2	40.8	39.0	52.3	18.16	39.41	7.84	34.59
中国上海城市主干道	10.3	41.0	15.5	12.4	15.0	29.68	34.02	7.31	29.09

表2同时给出了在FTP、ECE和10-15工况中,加速、减速以及匀速工况的平均速度。由表可见,FTP的平均车速最高,其他依次为10-15和ECE;中国上海城市主干道的平均车速最低,加速工况下的平均速度只有15.5 km/h,匀速工况下的平均速度甚至低于ECE工况的50%。

图3给出了4种工况的速度-加速度工况点分布图。由图可见,日本10-15工况与欧洲ECE工况的工

况点分布均匀,其加减速工况点具有长时间、持久性和连续性的特点,加速度区间为 $\pm 2.0 \sim \pm 4.0 \text{ m/s}^2$,与中国上海城市主干道的工况点分布相比,上述工况在车辆的实际行驶过程中是很少出现的。相比之下,美国FTP工况点分布与实际车辆的行驶工况较为接近,基本没有出现连续长时间加速或减速的情况。由此可见,欧洲标准工况并不能真实地反映我国机动车在实际道路上的行驶状况。

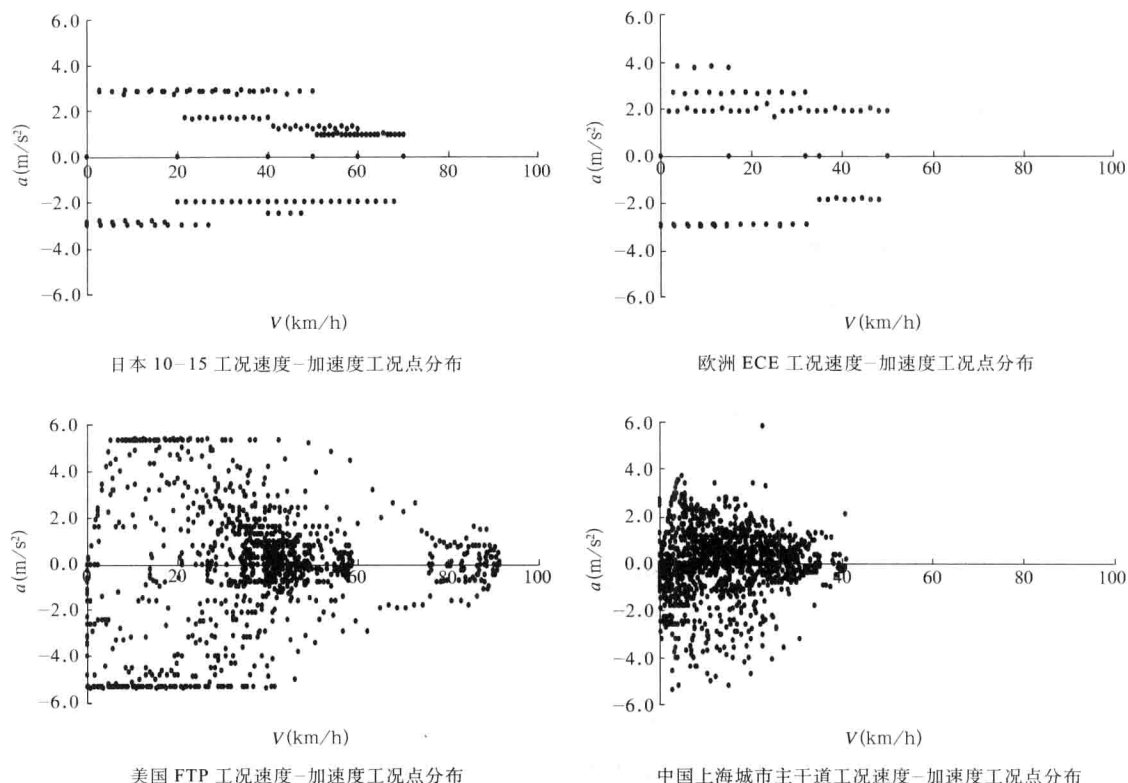


图3 速度-加速度工况点分布

3.3 不同车速下的各工况排放比较

车辆在实际道路上行驶时,各种污染物的排放随着车速和负载发生变化^[19,20]。国内外许多研究表明,车速是影响汽车污染物排放的重要因素^[21,22]。

图4给出了4种工况不同车速时的污染物排放和燃油消耗。由图可见,无论是哪种工况,污染物的排放水平都随着车速的提高而下降;特别是车速在超低速段(0~10 km/h)向低速段(10~20 km/h)过渡时,污染物排放水平的变化尤其显著。当车速为0~10 km/h时,日本10-15工况的 NO_x 排放是10~20 km/h时的7.7倍,ECE工况为4.1倍,FTP工况为3.4倍;日本10-15工况的CO排放是10~20 km/h时的10.1倍,ECE工况为5.1倍,FTP工况为4.4倍;而THC的排放差距更大一些,日本10-15工况的排放是14.6倍,ECE工况的排放为7.3倍,FTP工况则为6.8倍。车速0~10 km/h中包括了车辆冷、热启动过程以及车速为零的怠速过程,这是该车速段污染物排放水平较高的主要原因。

相对其他工况而言,中国上海城市主干道上污染物的排放变化最小,当车速从0~10 km/h向10~20 km/h过渡时,THC排放减少了80.1%,CO排放减少

了75.9%, NO_x 排放减少了71.6%。当车速从20 km/h提高到30 km/h以上时,污染物的排放变化就开始趋于稳定,THC和 NO_x 的排放因子变化较小,分别处于0.4~0.55 g/km和3~3.5 g/km范围内;CO的排放因子在0.75~0.95 g/km的区间内浮动。

上述结果显示,采用欧、美、日和中国上海城市主干道工况对同一辆机动车在不同车速时的排放进行估算时,其排放因子随车速的变化趋势基本一致;但排放因子的绝对值在低速段存在明显差异。

3.4 不同行驶状态下的各工况排放贡献比较

图5给出了欧、美、日和中国上海城市主干道工况在不同的行驶状态时,对污染物排放和油耗的贡献。由图可见,在污染物的排放过程中,起主导性作用的是车辆的加速过程。无论是哪种行驶条件,加速工况对污染物排放的贡献率都在30%以上,个别甚至超过了70%。这是因为车辆在加速过程中需要发动机输出的功率较大,随着进气量和供油量的增大,空燃比发生了很大的变化,且由于燃烧不稳定,许多没有燃烧的燃料直接从排气管排出,使得THC和CO排放量较大;此时,又由于燃烧室内 O_2 和 N_2 充足,且汽缸温度迅速升高,为 NO_x 的生成创造了有利的条件^[18],因此加速阶段也是

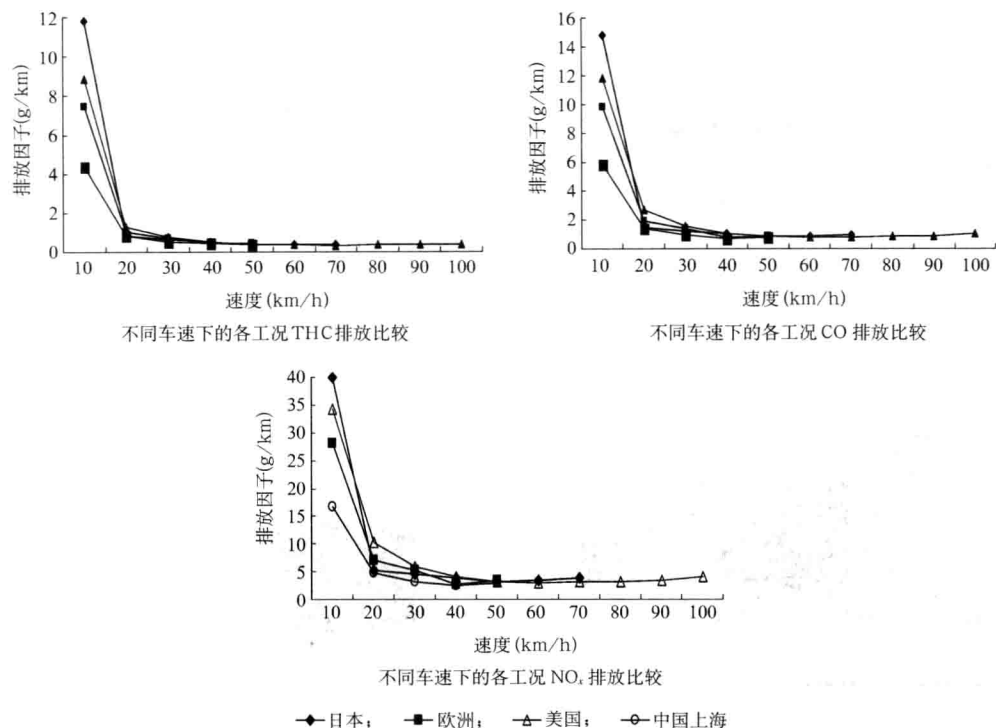


图4 不同车速下的各工况排放和燃油消耗

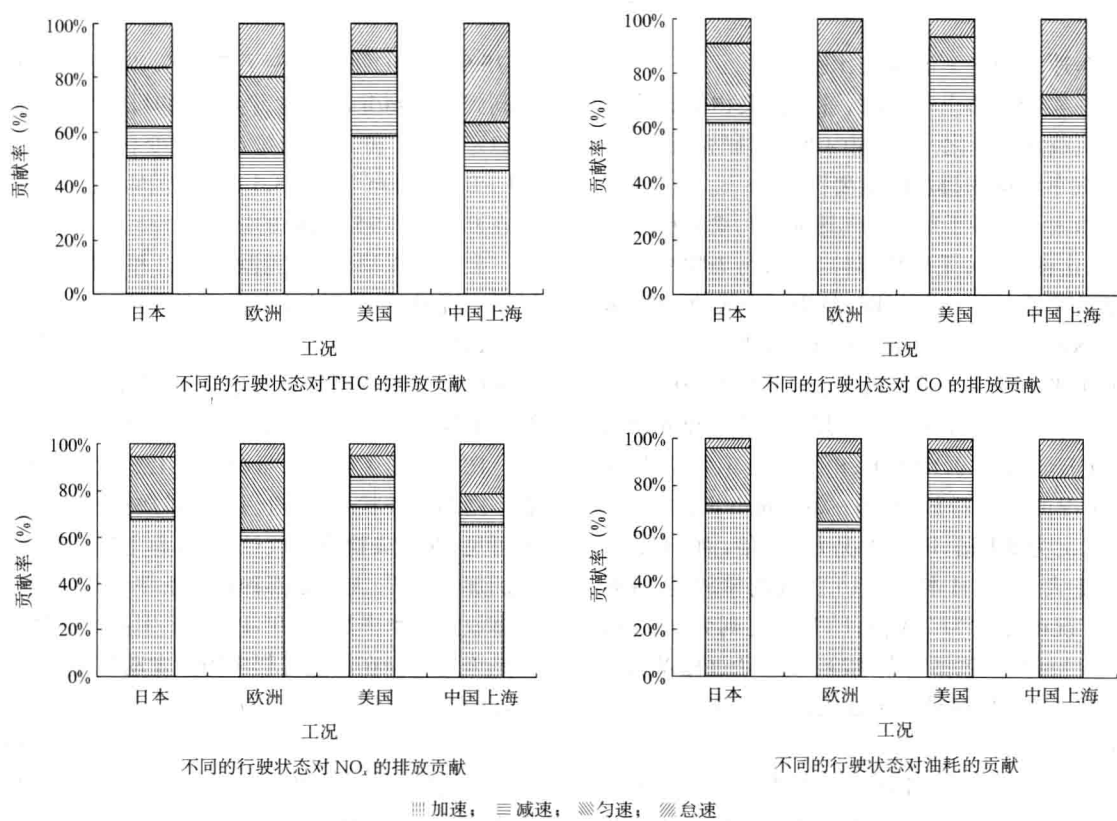


图5 不同的行驶状态对污染物和油耗的排放贡献

NO_x 排放较大的过程。

由图还可以看出,美国 FTP 工况中,加速过程对于 NO_x 的排放贡献最大,超过 70%。所有工况匀速过程的污染物排放贡献率比例最高的是 ECE 工况,约占 30%;美国工况减速过程的污染物排放贡献都在 20% 左右,其比例高于其他工况。对中国上海城市主干道工况而言,怠速过程对 THC 的贡献率甚至接近 40%,对 CO 的贡献率超过了 30%,车辆怠速行驶对排放的影响明显超过其他标准工况。

3.5 各工况的排放水平比较

表 3 中给出了本研究模拟得到的 THC、CO 和 NO_x

的排放水平。由表可见,美国工况的 3 种污染物排放水平最低,而中国上海城市主干道的污染物排放明显高于其他 3 种标准工况。对中国上海城市主干道工况的模拟结果显示,由于我们的车辆加减速频繁,汽缸燃烧条件恶劣,致使混合气燃烧不完全,燃油经济性较差,从而导致 THC 和 CO 排放显著增加。虽然中国上海城市主干道污染物的排放速率低于其他工况,但污染物的排放因子显著高于其他工况,其 CO 排放因子分别是欧洲工况的 1.3 倍、美国工况的 1.5 倍、日本工况的 1.4 倍;THC 排放因子分别是欧、美、日的 1.5、2.1、1.9 倍;NO_x 排放因子分别是欧、美、日的 1.2、1.3、1.3 倍。

表3 不同工况的排放水平比较

工况		THC		NO _x		CO	
		排放速率 (mg/s)	排放因子 (g/km)	排放速率 (mg/s)	排放因子 (g/km)	排放速率 (mg/s)	排放因子 (g/km)
日本	加速	8.2	0.72	79.9	7.04	20.2	1.78
	减速	2.5	0.27	5.9	0.64	2.5	0.28
	匀速	4.6	0.36	35.4	2.76	9.5	0.75
	综合	4.4	0.57	32.2	4.18	8.8	1.14
欧洲	加速	6.8	1.12	16.0	10.27	62.5	2.63
	减速	2.6	0.47	2.5	1.07	5.9	0.46
	匀速	3.6	0.38	6.5	2.37	22.5	0.68
	综合	3.7	0.73	22.8	4.51	6.5	1.30
美国	加速	7.5	0.66	18.1	6.29	71.4	1.60
	减速	3.4	0.31	4.5	1.31	14.2	0.42
	匀速	5.3	0.37	11.6	3.04	44.2	0.80
	综合	5.0	0.53	37.9	4.00	10.2	1.07
中国上海	加速	4.2	0.97	8.1	6.78	29.2	1.87
	减速	2.6	0.76	2.9	2.12	7.3	0.83
	匀速	3.2	0.75	4.9	3.83	16.0	1.18
	综合	3.1	1.09	15.1	5.28	4.7	1.65

造成这一结果的主要原因是,由于我国城市交通拥堵现象严重,行人及非机动车对行驶车辆的干扰频繁,使得车辆频繁加减速,致使车辆经常处于强加速和紧急制动的状态,从而导致柴油车排放状况较差,污染严重,冒黑烟现象十分突出。这是我国城市交通与欧、美、日的本质区别,也是造成我国车辆排放严重的主要原因之一。

3.6 各工况的燃油经济性比较

图 6 给出了不同工况的机动车燃油经济性的 CMEM 模拟结果。由图 6 可见,同一辆车在不同行驶工况下,其汽车的燃油经济性会有很大的差异^[5,23]。模拟车辆在中国上海城市主干道上的燃油经济性最差,

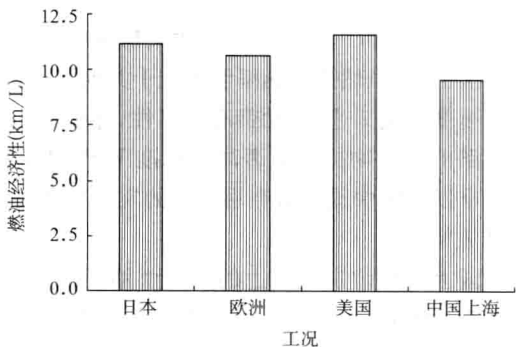


图6 不同工况的燃油经济性比较

仅为 9.56 km/L(每升燃料行驶的路程数);其他工况的燃油经济性均在 10 km/L 以上,其中美国城区工况的燃油经济性最好,达到 11.6 km/L;日本 10-15 工况仅次于美国城区工况,其每升燃料行驶的路程数达到 11.2 km;而 ECE 工况的燃油经济性为 10.6 km/L,仅高于中国上海城市主干道。计算结果显示,采用 ECE 工况来计算机动车在中国上海城市主干道上的燃油经济性,其结果可能被高估了 10% 左右。这与李孟良等^[16]的研究结果基本一致。

4 结论

本研究运用相同的车辆,采用 CMEM 瞬时排放模型,分析了车辆的行驶特征,模拟了不同工况条件下轻型柴油车的油耗和排放特征。

4.1 模型比对结果显示,CMEM 的模拟结果与实测结果的变化趋势吻合,且模拟值与实测值基本一致,基本反映了车辆实际道路排放水平。说明 CMEM 能够较好地反映车辆在实际道路上排放随工况的瞬时变化。

4.2 各国实际道路交通特征不同,各标准工况之间行驶特征的差异很大。中国上海城市主干道的工况与美国 FTP 工况的分布最为接近,两者的区别在于中国上海工况的速度点绝大部分集中在低速区,平均速度只有 10.3 km/h。欧洲城区工况与日本 10-15 工况速度-加速度工况点分布过于简单,加减速具有稳定持续的特点,与实际路况相差很大。

4.3 标准工况的排放主要受加速和匀速工况影响;而中国上海实际路况的排放主要由加速和怠速工况贡献,且比率相差较大。对 CO 排放而言,3 种标准工况中怠速对于 CO 排放的贡献率普遍低于 10%;而在中国上海实际路况中,怠速对于 CO 排放的贡献率高达 30%。

4.4 中国上海城市主干道工况的污染物排放高于其他 3 种标准工况。虽然排放速率明显低于其他工况,但是低行驶速度以及加速、制动带有突然性,导致中国上海实际道路的污染物排放显著高于标准工况。新欧洲标准工况难以反映中国上海在用车辆的实际行驶特征和污染排放特点。

4.5 中国上海城市主干道上的车辆燃油经济性最差,仅为 9.56 km/L;与作为测试标准的新欧洲标准工况模拟结果对比之后发现,实际的燃油经济性可能被高估了 10%。

5 参考文献

- 1 谢绍东,张远航,唐孝炎. 我国城市地区机动车污染现状与趋势. 环境科学研究, 2000,13(4):22~25.
- 2 U.S.EPA. MOBILE6 user's manual. Washington: U.S.EPA, 2002,11~15.
- 3 John K, Mitch C. Draft design and implementation plan for EPA's multi-scale motor vehicle and equipment emission system (MOVES). Washington:U.S. EPA, 2002,2~6.
- 4 王海鲲,陈长虹,黄成,等. 应用 IVE 模型计算上海市机动车污染排放. 环境科学学报, 2006,26(1):1~9.
- 5 Kyounggho A, Hesham R. The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions. Transportation Research Part D:Transport and Environment, 2008,13(3):151~167.
- 6 Haikun Wang, Changhong Chen, Cheng Huang, et al. On-road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai, China. Science of The Total Environment, 2008,398(1~3),60~67.
- 7 Davis N, Lents J, Osses M, et al. Development and application of an international vehicle emissions modal. Transportation Research Board 81st Annual Meeting. Washington D.C.
- 8 中华人民共和国国家统计局[EB/OL]. 国民经济和社会发展统计公报, www.stats.gov.cn/, 2007.
- 9 中华人民共和国公安部[EB/OL]. 全国机动车辆和驾驶人员统计数字, www.mps.gov.cn/, 2007.
- 10 张建伟,李孟良. 车辆行驶工况与特征研究. 汽车工程, 2005,27(2):220~245.
- 11 周泽兴,袁盈,刘希玲,等. 北京汽车行驶工况和污染物排放系数调查研究. 环境科学学报, 2006,20(1):48~53.
- 12 刘希玲,丁焰. 我国城市汽车行驶工况调查研究,环境科学研究, 2000,13(1):23~27.
- 13 Barth M, Carrie M, Younglove T, et al. Recent validation efforts for a comprehensive modal emissions model. Transportation Research Record, 2001, (4):13~23.
- 14 Barth M, An F, Younglove T, et al. Comprehensive modal emissions model (CMEM) version 2.02 users guide [EB/OL]. http://www.ucr.edu, 2001.
- 15 Barth M, An F, Younglove T, et al. Development of a Comprehensive Modal Emissions Model. US: NCHRP Project 25-11 Final Report, 2000.
- 16 李孟良,张建伟,张富兴,等. 中国城市乘用车实际行驶工况的研究. 汽车工程, 2006,28(6):554~557.
- 17 潘汉生,陈长虹,景启国,等. 轻型柴油车排放特性与机动车比功率分布的实例研究. 环境科学学报, 2005,25(10):1306~1313.
- 18 黄成,陈长虹,戴璞,等. 轻型柴油车实际道路瞬时排放模拟研究. 环境科学, 2008,29(10):43~48.
- 19 袁盈,肖亚平,傅立新. 机动车污染控制100问. 北京:化学工业出版社, 2001.

- 20 郝吉明,傅立新,贺克斌,等. 城市机动车排放污染控制:国际经验分析与中国的研究成果. 北京:中国环境科学出版社, 2000,12.
 - 21 Holmen A B, Niemeier A D. Characterizing. The effects of driver variability on real-world vehicle emissions. Transportation Research Part D, 1998, (3):117~128.
 - 22 Lim M C H, Ayoko G A, Morawska L, et al. The effects of fuel characteristics and engine operating conditions on the elemental composition of emissions from heavy duty diesel buses. Fuel, 2006,86(12~13) 1831~1839.
 - 23 Silva C M, Farias T L, Christopher F H, et al. Evaluation of numerical models for simulation of real-world hot-stabilized fuel consumption and emissions of gasoline light-duty vehicles. Transportation Research Part D, 2006,11(5):377~385.
- 责任编辑 唐东雄 (收到修改稿日期:2008-06-23)

长兴岛污水处理厂尾水外排影响数值模拟研究

A Numerical Simulation Study on the Effect of Effluent Discharge from Changxing Island Wastewater Treatment Plant

陈义中 卢士强 林卫青 (上海市环境科学研究院, 上海 200233)

Chen Yizhong Lu Shiqiang Lin Weiqing (Centre for Environmental Modelling, Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233)

摘要 针对长兴岛污水处理厂的远期规划,使用 Delft-3D 模型系统建立了长江口杭州湾大范围海域二维水动力、水质模型,采用边界贴体正交曲线网格,克服了计算区域边界的不规则性。应用模型对污水外排长江口的环境影响进行数值模拟分析。结果表明:模型能较好地模拟长江口及毗邻水域的水位、流场和污染物浓度的变化过程;长兴岛污水处理厂尾水排放对水质的影响非常小,无论是枯季还是洪季,排放口附近水域 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD_{Cr} 的浓度增量都远低于 0.1 mg/L ;尾水排放对附近水域环境敏感目标(如青草沙水源地、九段沙湿地自然保护区)的影响十分有限。

关键词: 长兴岛污水处理厂 尾水外排 水动力模型 水质模型 水环境影响 数值模拟分析

Abstract By using Delft-3-D model system, a 2-D hydrodynamic and water quality model covering large areas of Yangtze Estuary and Hangzhou Bay was built up for simulating the effluent discharge into Yangtze River according to the long-term planning of Changxing Island Wastewater Treatment Plant. The simulation has shown that the discharge of the effluent would exert a slight influence on the quality of receiving water body. The increment of $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD_{Cr} levels in the vicinity of the effluent outfall would be always far below 0.1 mg/L both in drought and flood seasons. The impact on the adjacent sensitive water bodies, such as Qingcao Shoal reservoir, Jiudian Shoal wetland reserve area, and etc., would be very limited.

Key words: Changxing Island Wastewater Treatment Plant Effluent discharge Hydrodynamic model Water quality model Water environmental impact Numerical simulation

1 引言

长兴岛陆域面积约 88 km^2 ,将建设成世界一流的现代造船基地。长兴岛污水处理厂是近期岛上重要的主体性工程。根据规划,污水处理厂日处理污水能力 4.5 万 m^3 。针对长兴岛污水处理厂尾水排放对长江口水环境的影响,本文使用 Delft-3D 模型系统^[1-3]建立了长江口杭州湾大范围水域二维水动力、水质模型,对长兴岛污水处理厂尾水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及 COD_{Cr} 2 个水质指标进行模拟分析,以此研究长兴岛污水处理厂尾水排放对附近水域及周边水环境敏感点的水质影响程度,为污水处理厂的远期规划标准的设定提供科学依据。

水动力模拟的主要目的是为水质模型提供水质计算的流场条件。水质模型则主要用于定量分析研究区

域内污染物的输运和污染影响评价。河口、海湾水动力模型的建立需要针对研究水域的海洋动力特性。长兴岛临近海域水深较浅、海水混合比较均匀,可采用水深平均的二维数学模型^[1,2]。

2 模型设置

2.1 水动力模型

模型范围包括长江口、杭州湾以及临近海域,其中

第一作者陈义中,男,1983年生,2007年毕业于华东师范大学河口海岸研究所,硕士,助理工程师。

1) Delft 3D-FLOW User manual, Delft Hydraulics, 2007, 10.

2) Delft 3D-QUICKPLOT User Manual, Delft Hydraulics, 2006, 11.

3) Delft 3D-WAQ User Manual, Delft Hydraulics, 2007, 10.

网格在走向上兼顾了长江口的 4 个入海通道,并考虑了北槽的深水航道工程。网格格数位 147×132 ,平均格距 2 km,最小格距在长江口内约 300 m,最大格距在外海约 6 km(图 1)。

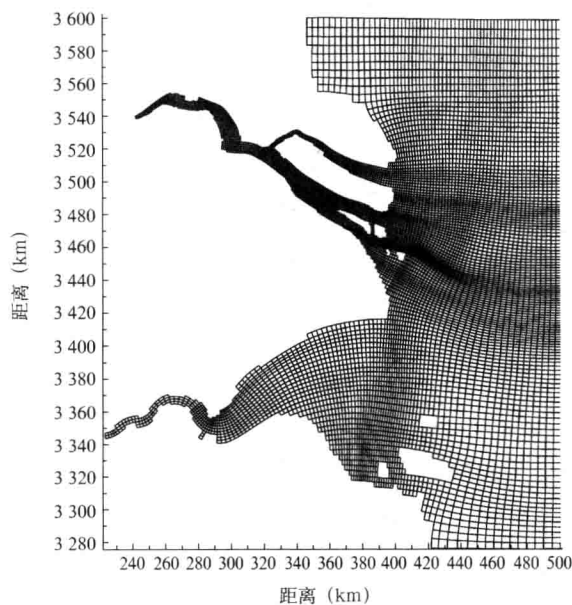


图1 模型范围和网格划分

模型中的地形资料主要取自中国人民解放军海军司令部航海保证部 2004 年的航海图。长江口内部分地形取自近几年的专项实测资料(图 2)。

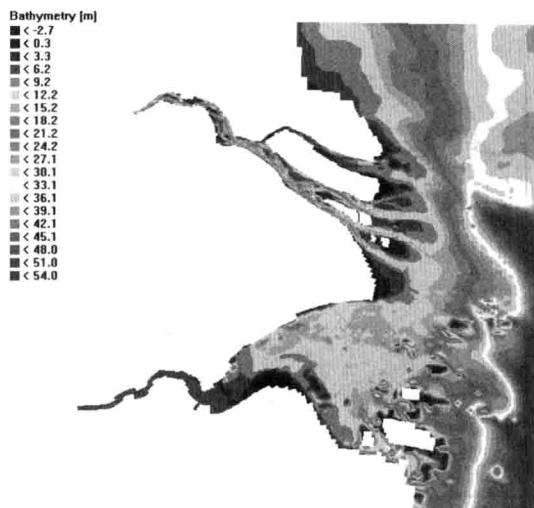


图2 模型范围内水深分布

模型的风场采用 NOAA 的 NCEP/NCAR 再分析风场,1 次/6h,杭州湾海域精度约 2 度。计算区域的初

始条件涉及水位和流速,以及盐度和温度的初始值,由于水位和流速对外界动力响应较快,初值均取为零;盐度、温度取洪季或枯季的典型分布值。模型计算时间步长为 240 s。

模型的边界条件涉及长江口上边界、杭州湾上边界和 3 个外海开边界(长江口上界取到洪季潮流界江阴,杭州湾上界取到钱塘江大桥以西);3 个外海开边界为东边界到 123°E ,北边界到 $32^{\circ}30'\text{N}$,南边界到 $29^{\circ}35'\text{N}$ 。流场的外海开边界通过水位变化作为模式的驱动,水位 ζ 的表达式为:

$$\zeta = A + \sum_{i=1}^{m_{id}} f_i H_i \cos[\omega_i t + (V_0 + u)_i - g_i]$$

式中, A ——余水位,由大区域模型计算得到^[1];

f_i ——各分潮的交点因子;

$(V_0 + u)_i$ ——分潮的天文相角,可由地理位置及具体的年、月、日求得;

ω_i ——分潮的角频率;

g_i, H_i ——潮波的地方迟角和振幅;

m_{id} ——分潮个数,本模式中 $m_{id} = 7$,包括 $M_2, S_2, K_1, O_1, K_2, N_2$ 和 P_1 。

模型的外海开边界水位调和常数是使用这几个主要分潮在长江口、杭州湾附近海域的振幅和迟角插值得到(图 3)¹⁾。长江口和杭州湾的径流边界在率定验证中使用实测流量,在进行环境影响分析时分别取大通站和闸口的多年月平均流量(表 1)。

表1 大通站、窄溪站多年月平均流量 (m^3/s)

月 份	分 段	
	1985~2003年长江 大通站月平均流量	1995~2005年钱塘江 窄溪站月平均水量
1	12 604	1 416
2	13 325	1 528
3	18 344	1 665
4	25 219	1 676
5	31 979	1 492
6	39 134	1 750
7	53 942	1 420
8	45 137	1 391
9	40 710	1 449
10	31 323	1 324
11	21 836	1 393
12	14 402	1 359

1) 陈义中. 黄海东海环流和长江冲淡水季节连续变化的数值模拟(硕士学位论文). 华东师范大学, 2007.