

上海地区水体污染负荷排放的现状与趋势分析

张海平

DHI CHINA, 上海市乌鲁木齐南路 396 弄 10 号 502 室 200031

(E-mail: zhp@dhi.dk)

摘要 根据上海市污染负荷数据库信息以及现场调查资料, 利用 DHI 的负荷估算模型 MIKE Load 对上海地区目前和将来 (2010 年及 2020 年) 的污染负荷进行了评估。结果显示, 上海目前的主要污染源可以归纳为 (按从大到小排列): 生活/商业、畜禽养殖、工业和农业。生活/商业污染源占总有机污染的 50% 左右, 养殖 30%, 工业 20%。畜禽养殖和农业在总氮污染负荷中占 50% (分别为 36% 和 14%), 磷占 37% (分别为 32% 和 5%)。预计到 2020 年, 工业、生活和商业污染都将显著增长 (增加约 50—60%), 而畜禽和农业负荷基本维持在目前水平。进入黄浦江水系的负荷总量将增加 25—35%, 如不采取积极的应对措施, 届时黄浦江将彻底失去饮用水水源地功能。

关键词: 黄浦江; 污染负荷; MIKE Load; GIS

Current Status and Development Trend of Pollution Load in Shanghai Area

Hai-ping Zhang

DHI CHINA, Room 502, No 10. 396 Lane, Wulumuqi Road (S) Shanghai, 200031, China

(E-mail: zhp@dhi.dk)

Abstract: Based on the Pollution Load Database in Shanghai Environmental Protection Bureau and field investigation, the current status and future development trend of pollution load in Shanghai Area was evaluated using MIKE developed by DHI. The major sources have been identified in the study (listed in order of decreasing impact) as: domestic/commercial sources, livestock, industry and agriculture. At present organic pollution load from domestic/commercial sources constitutes almost 50% of the total load, while the load from livestock and industrial sources constitutes 30% and 20% respectively. Livestock and agricultural activities contribute to 50% (36% and 14% respectively) of the total nitrogen load, and 37% (32% and 5% respectively) of the total phosphorus load. It is anticipated that in 2020 the load from livestock and agricultural activities will remain unchanged as the present condition, while the load from industry, domestic and commercial will increase by 50-60%, resulting in an increase of total load discharge to the Huangpu River system by 25-35%. The Huangpu River would lose its function as the municipal water supply source completely if no initiatives were taken.

Keywords: Huangpu River, Pollution load, MIKE Load, G

1 概述

上海位于我国南北海岸线的中部，地处长江三角洲前缘的河口地区，东濒东海，南临杭州湾，北界长江入海口，西接江浙两省。上海全市面积为 6,340km²，河网密度约为 3.4km/km²，多年平均降水量 1,096mm。按照规划，到 2020 年上海将初步建成国际经济、金融、贸易和航运中心。自改革开放以来，上海在各个领域取得了巨大的进步，跨上了经济发展、城市建设、社会服务、人民生活水平的新台阶。但随着社会经济的快速发展和城市化进程的推进，大量城市废污水来不及收集处理，而直接排放江河水体，致使水环境不断恶化。为此，上海市政府加大了污染控制和环境治理的力度，以“安全、资源、环境、景观”四位一体的要求，推进中小河道治理以及环保建设三年行动计划，使水环境面貌有了较明显的改善。但是上海市水环境治理任务依然十分艰巨，污水收集率和处理率依然较低。上海市政府目前已经着手进行上海城市环境项目（SHUEP），包括城市基础设施的建设以及黄浦江上游水源地的环境保护项目。

本文介绍了世行技援项目“黄浦江上游流域环境管理项目”中的一项工作—流域污染负荷分析，其任务是根据国内外相关研究成果和实践经验，利用 DHI 的负荷分析软件 MIKE Load，通过分析现有污染负荷数据库资料，并结合现场调研，对上海地区、特别是黄浦江上游地区的污染负荷进行系统全面的评估分析，明确造成黄浦江上游地区水环境污染的主要污染源及强度，为建立水质模型和确定水污染控制方案提供基础信息。

2 分析方法

进入黄浦江水系的污染负荷可分为点源和非点源两大部分。点源主要来自工业、城市人口和商业，它们与下水道系统相连，从发生点到进入水体之间的输运距离一般很短，期间发生的削减可忽略不计。大型畜禽养殖场也可被视作点源。非点源污染主要来源于农业、小型养殖场和农村人口。由于流域的截留和削减作用，有很大一部分非点源负荷在进入水体之间被削减了。削减作用可以用距离削减系数（污染物迁移过程中发生的一级降解速率）来衡量。绝大部分化肥在农田内被作物吸收或微生物分解，只有很少一部分流失；而大量畜禽粪便被用作农家肥，也只有部分最终进入水体。因此对农业和畜禽污染而言，还应该再考虑一个流失系数。同时在研究中假定农村生活污染的排放不受降雨径流的影响，即排放速率恒定，而农业和畜禽养殖负荷的排放则取决于降雨径流，即晴天时没有排放，而只有在降雨期间进入水体，并且进一步假定负荷排放强度与降雨径流强度成正比。上述各种污染源的入河途径和影响因素被概化在图 2.1 中。污染负荷流失系数和距离削减系数是根据国内外以往研究成果以及本项目过程中的特别调查确定的，并用水质模型进行了率定，具体取值见表 2.1 和 2.2。

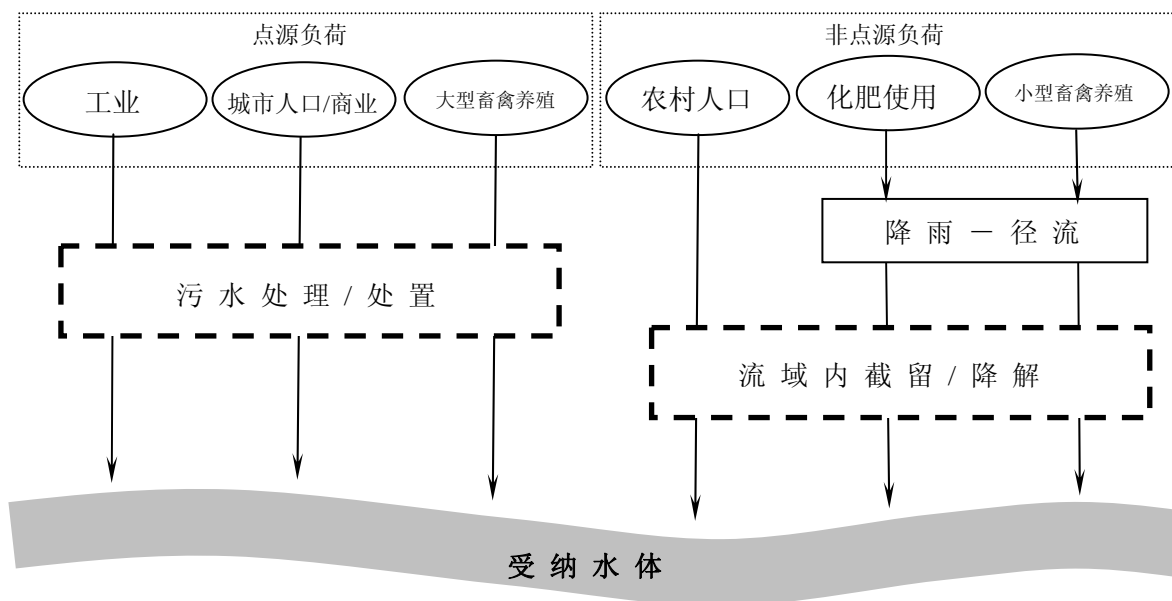


图 2.1 各种污染负荷的入河途径和影响因素

表 2.1 上海地区的污染流失系数

污染源	NH ₄ -N	TP
农业	0.15	0.1
畜禽	0.1	0.1

表 2.2 不同污染物参数的距离削减系数

污染源	单位	BOD ₅	NH ₄ -N	TP	EColi
农业/养殖业	Km ⁻¹	0.05	0.01	0.01	0.2
生活	Km ⁻¹	0.1	0	0	0.2

入河非点源负荷量计算应用了 DHI 开发的 MIKE Load 负荷评估模型。模型在 ArcGIS 9 环境中使用图像用户界面，如图 2.2 所示，能快速透明地提供多种方法来评估非点源污染、土地利用和其它影响非点源污染空间分布的地理特征，具有效率高、计算速度快（一般只要数秒时间）、精度高的特点。模型自动将上海市各区县产生的非点源负荷分配到用户划定的子集水区中，然后根据降雨径流的计算结果和集水区坡度，按照最短流径原则确定污染入河点和负荷量。

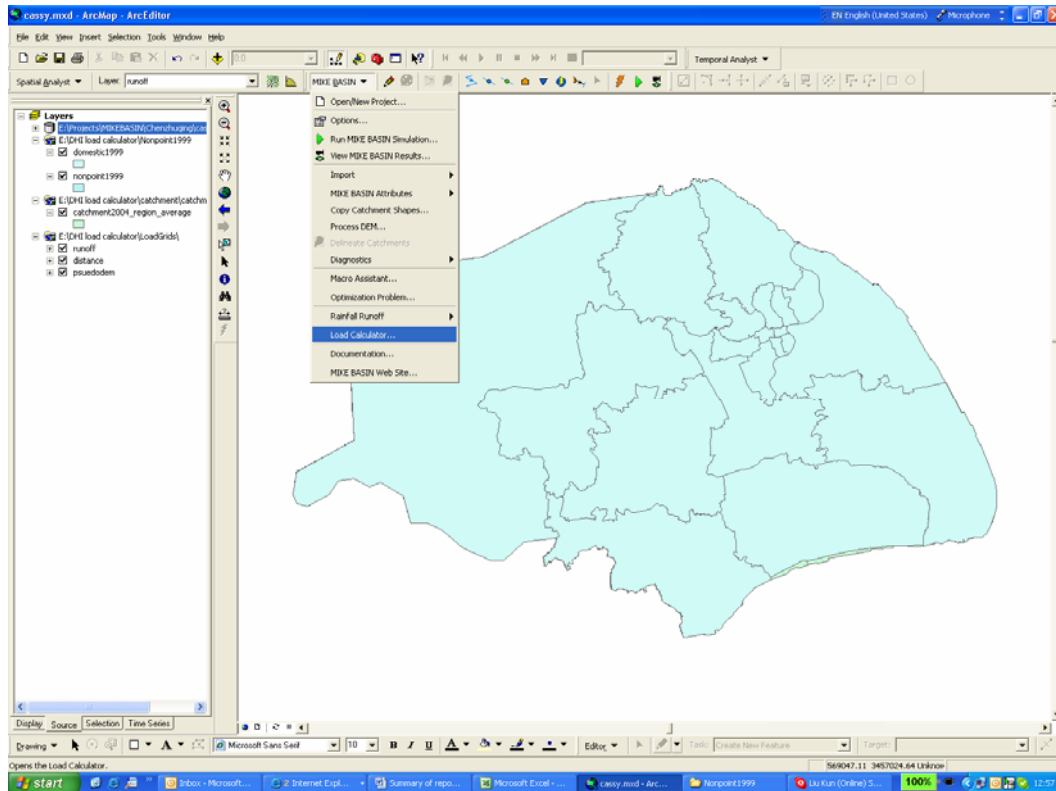


图 2.2 基于 ArcGIS 9 的 MIKE LOAD 用户界面

3 现状分析

3.1 工业污染负荷

1999 年上海除崇明岛之外的所有工业行业包括 6086 个工业点源，其中 3277 个点源直接排入黄浦江水系。在污染控制数据库的 33 个工业类型中，有 14 个被归为有机污染类。调查显示，80% 的大型企业（500 雇员以上）和 30% 的小型企业（500 雇员以下）有不同程度的内部废水处理设施。近年来上海的工业产值增长迅猛，工业总产值由 6,213 亿元增长至 11,266 亿元，增长率超过 80%。但由于内部处理措施的加强，用水量并未有太大的变化，并且工业污染负荷有所下降。表 3.1 为上海地区现状工业负荷排放量。

表 3.1 上海地区现状工业负荷排放量

年份	废水量 m ³ /y	COD _{CR} t/y	BOD ₅ t/y	TN t/y	TP t/y
1999	511,197,150	223,036	95,720	6,315	2,556
2004	511,197,150	170,951	65,694	6,315	2,556

3.2 生活污染负荷

1999 年大约有 11,300,000 人口产生的污水进入黄浦江水系，4 百万人口的废水排入海（不包括崇明岛，但包括上海西部的太湖流域），有 230 万人口的污水得到处理。排入黄浦江的生活污水主要集中在城区（宝山、长宁、徐汇、浦东、虹口和杨浦），但是黄浦江

上游地区，如松江、青浦和金山等地的生活污染负荷也很显著。2004 年与 1999 年相比，总人口数增长了约 13%，但主要增长在郊县。现状生活污染负荷量见下表 3.2。

表 3.2 上海地区现状生活负荷排放量

年份		废水量	COD _{CR}	BOD ₅	TN	TP	Ecoli
		m ³ /y	t/y	t/y	t/y	t/y	10 ¹² /y
1999	点源	159,289,950	84,955	42,477	6,053	2,310	133,837,788
	非点源	203,380,538	108,470	54,235	8,780	3,007	123,310,600
2004	点源	158,344,650	84,450	42,225	6,026	2,300	133,250,832
	非点源	252,261,375	134,539	67,270	10,803	3,700	153,753,077

3.3 商业污染负荷

商业污染来自餐饮、饭店及公共机构等。1999 年上海共有 21,517 个商业污染源，总废水量为 225,000,000 m³，主要来自市中心的虹口、浦东和杨浦（占总量的 45%）。调查显示商业废水的浓度通常要比生活废水高，COD 浓度在 400-700 mg/l 之间，氨氮的浓度为 30 mg/l 或略低。没有 2004 年的商业污染负荷调查数据，在研究中假定与生活污染负荷增加速度基本相同。表 3.3 为现状商业污染负荷排放量。

表 3.3 上海地区现状商业负荷排放量

年份	废水量	COD _{CR}	BOD ₅	TN	TP
	m ³ /y	t/y	t/y	t/y	t/y
1999	225,123,400	129,446	54,030	6,322	3,377
2004	247,635,740	142,391	59,433	6,954	3,715

3.4 畜禽污染负荷

上海市环保局的污染负荷数据库中对养殖厂养殖种类、数量和规模均有说明，但没有实际养殖量，因此结合相关年鉴进行了修正。上海有 2,825 个养殖厂（1,013 个大型养殖厂和 1,812 个小型养殖厂），1999 年的畜禽养殖废水量为 880 万立方。自 1999 年以来，由于政府将许多畜禽厂强制性迁出市区，畜禽产量大大降低。至 2004 年牛宰杀量减少了 4.1%，生猪宰杀量减少了 13.1%，家禽宰杀量减少了 13.9%。表 3.4 为现状畜禽污染负荷排放量。

表 3.4 上海地区现状畜禽养殖负荷排放量

年份		废水量	COD _{CR}	BOD ₅	TN	TP	Ecoli
		m ³ /y	t/y	t/y	t/y	t/y	10 ¹² /y
1999	点源	10,109,429	205,292	102,646	16,970	2,797	490,762,841
	非点源		41,751	20,876	3,627	1,197	13,418,703
2004	点源	8,810,823	178,921	89,465	14,776	2,436	425,210,318
	非点源		36,305	18,153	3,156	1,042	11,641,688

3.5 农业污染负荷

农业污染负荷是根据相关统计年鉴中的化肥消耗量来估算的。上海的主要农业区域包括奉贤、嘉定、金山、南汇、青浦和松江等。尽管上海的城市化进程非常迅速，但化肥消耗量非常高，单位化肥施用量要远高于世界其他地区的平均水平。根据上海农业综合科技服务中心的信息，上海地区主要使用的化肥是尿素 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}$ 和碳酸氢铵 $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ ，因此氮在农业污染中主要以氨氮的形态出现。上海各区县使用的化肥量从 1999 年的 193,000 吨降至 2004 年的 158,700 吨，降幅达 18%。而同一时期，可耕种面积下降了 15%。表 3.5 为现状农业污染负荷排放量。

表 3.5 上海地区现状农业污染负荷排放量

年份	TN	TP
	t/y	t/y
1999	23,655	2,094
2004	19,420	1,719

4 趋势分析

趋势分析是假设没有采取比现状更积极的负荷控制措施，而后根据规划的社会经济发展对来自不同污染源的污染负荷进行预测。

4.1 工业污染负荷

在本项目的特别调查中对各种类型的工业企业进行了进一步考察。发现从 1999 年到 2003 年，许多工厂更新完善了其内部废水处理设施，因此工厂内部的废水处理效果跟 1999 年相比已经大大改善了。总的估计是，90% 的大型污染企业建有废水处理措施，而 60% 的小工厂建有废水处理措施。从 2003 年到 2020 年，假定工业污染负荷每年增加 3%，估计的 2010 年和 2020 年工业负荷见表 4.1。

表 4.1 预测工业负荷排放量

年份	废水量	COD _{CR}	BOD ₅	TN	TP
	m ³ /y	t/y	t/y	t/y	t/y
2010	613,436,580	205,141	78,833	7,579	3,067
2020	817,915,439	273,522	105,111	10,105	4,090

4.2 生活污染负荷

根据最近上海城市污染预测，从现在到 2020 年上海人口的年平均增长率将超过 2%。这种发展速度将使上海人口到 2020 年增长至 2,450 万，其中 1,720 万人口所产生的污水将进入黄浦江水系。不同区县的人口增长率各不相同。分析显示，上海市南部和西部区县（淞江、嘉定、宝山、闵行、青浦和金山区）在 2010 至 2020 年期间将经历人口快速增长期。表 4.2 为预测的 2010 年和 2020 年生活负荷。

表 4.2 预测生活负荷排放量

年份		废水量	COD _{CR}	BOD ₅	TN	TP	Ecoli
		m ³ /y	t/y	t/y	t/y	t/y	10 ¹² /y
2010	点源	159,289,950	84,955	42,477	6,053	2,310	133,837,788
	非点源	329,728,988	175,855	87,928	14,103	4,830	201,075,123
2020	点源	159,289,950	84,955	42,477	6,053	2,310	133,837,788
	非点源	491,698,913	62,239	131,120	20,965	7,180	300,390,927

4.3 商业污染负荷

假定商业污染负荷的增长速度同生活污染负荷，预测的商业负荷见表 4.3。

表 4.3 预测商业负荷排放量

年份	废水量	COD _{CR}	BOD ₅	TN	TP
	m ³ /y	t/y	t/y	t/y	t/y
2010	277,352,029	159,477	66,564	7,788	4,160
2020	334,555,885	192,370	80,293	9,395	5,018

4.4 畜禽污染负荷

调查发现，自 1999 年到 2004 年，由于政府将许多畜禽养殖厂强制性迁出黄浦江流域，畜禽污染负荷排放量明显降低。对畜禽养殖的预测是非常困难的，因为随着人口的增长，对畜禽的需求也会随之增长。假定到 2020 年的负荷畜禽污染负荷与目前相比没有变化，见表 4.4。

表 4.4 预测畜禽污染负荷排放量

年份		废水量	COD _{CR}	BOD ₅	TN	TP	Ecoli
		m ³ /y	t/y	t/y	t/y	t/y	10 ¹² /y
2010	点源	8,810,823	178,921	89,465	14,776	2,436	425,210,318
	非点源		36,305	18,153	3,156	1,042	11,641,688
2020	点源	8,810,823	178,921	89,465	14,776	2,436	425,210,318
	非点源		36,305	18,153	3,156	1,042	11,641,688

4.5 农业污染负荷

农业污染负荷的发展趋势是否会如同 1999 到 2004 年那样继续减少下去，不好判定。根据统计年鉴，农业用地已经减少了 15%，同时化肥用量减少了 18%。一方面，人口增长和工业活动增长将减少农业面积，另一方面，国家要求在高经济增长地区不应降低农业活动。因此假定目前至 2010 年及 2020 年的农业的污染负荷排放量不变，见表 4.5。

表 4.5 预测农业污染负荷排放量

年份	TN	TP
	t/y	t/y
2010	19,420	1,719
2020	19,420	1,719

5 结果分析与讨论

1999、2004、2010、2020 年各年总的污染负荷排放量见表 5.1。由表可见，进入黄浦江水系的污染负荷总量逐年增加，2020 年的负荷排放总量将比目前增加 25—35%，黄浦江将承受更大的环境压力。

表 5.1 现状与预测年份进入黄浦江水系的污染负荷总量

年份	COD _{CR}	BOD ₅	TN	TP	Ecoli
	t/y	t/y	t/y	t/y	10 ¹² /y
1999	792,949	369,983	71,723	17,338	761,329,933
2004	747,558	342,239	67,450	17,467	723,855,903
2010	840,655	383,420	72,875	19,564	771,764,901
2020	1,028,312	466,619	83,869	23,794	871,080,715

从污染负荷评估可以看出，上海目前的主要污染源可以归纳为（按从大到小排列）：生活/商业、畜禽养殖、工业和农业。人类活动是最主要的有机污染物污染来源。生活和商业污染源占全部BOD₅负荷的 50%。如果不采取任何措施的话，预计该比例会缓慢而稳步上升。根据 2004 年氮的污染负荷分析，生活和商业占 35%，农业占 29%，养殖业占 27%，工业占 9%。将来农业和养殖业的氮污染维持不变，而生活、商业和工业氮污染将会显著增长。与有机物污染及氮污染相比较，磷的污染在上海不是一个很严重的问题。生活和商业污染是主要的磷污染来源，占到整个磷污染负荷的 60%。大肠杆菌主要来自于人类和畜禽养殖，根据污染负荷估计，2004 年生活和商业污染占 40%，2020 年将达到 50%。鉴于上述分析，建议实施以下措施，控制入河污染负荷量，维持或改善黄浦江水质：

- 禁止在水质敏感地区发展畜禽养殖业；将现有的养殖厂迁出黄浦江流域或迁至下游地区
- 提高化肥使用效率，建议对不同农作物的农肥进行效力和经济分析，并在此基础上向农民推广优化施肥方法
- 所有工厂企业的废水必须达标排放
- 加快市政污水收集管网和污水处理厂的建设

6 结论

黄浦江是上海的第一大水源地，目前承担着全市 80%的城市供水任务，取水规模达到 747 万m³/d。黄浦江的水质安全至关重要。尽管黄浦江上游水质总体良好，但是随着流域内的社会经济快速发展，目前饮用水取水口的水质呈现不断恶化的趋势，BOD₅、氨氮和大肠杆菌经常超地表水水质标准IV类甚至V类。研究显示，上海目前的主要污染源可以归纳为（按

从大到小排列)：生活/商业、畜禽养殖、工业和农业。生活/商业污染是黄浦江最主要的有机污染物污染来源，占全部BOD₅负荷的 50%；而畜禽养殖和化肥使用占总氮排放负荷的 56%。污染负荷排放呈现源头多、分布散、强度高的特征，采用任何单一控制手段都无法有效地遏制水环境污染。预测表明在可预见的将来，上海地区的生活、商业和工业污染负荷量还将显著增加，到 2020 年总排放负荷将比现状增加 25—35%。黄浦江水质将面临严峻的考验。建议从现在开始，应尽快建设污水收集和处理设施，强化工业排污管理，制订优化化肥使用政策，控制和减少畜禽养殖业发展，确保上海市供水安全。

参考文献

- 1) 上海市统计局 (2004). 2004 年上海市统计年鉴. 中国统计出版社
- 2) 上海市环境保护局(1999). 上海地区污染源综合调查
- 3) 汪松年等 (2001). 上海水资源普查报告. 上海科技出版社
- 4) DHI 水与环境 (2006). 黄浦江上游流域水环境管理项目 (最终报告)
- 5) DHI 水与环境 (2001). 苏州河环境改善项目, 第四部分: 水质模拟 (最终报告)
- 6) 阮仁良 (2000). 上海市水环境研究. 科学出版社