第 15 卷第 2 期　　湖　泊　科　学　　Vol.15, No.2
2003 年 6 月　　Journal of Lake Sciences　　Jun., 2003

太湖典型地区工矿企业废水中主要污染物排放特征研究——以江苏溧阳市为例*

杨龙元　范成新　张　路

（中国科学院南京地理与湖泊研究所，南京 210008）

提　要　在调查了江苏省溧阳市化工、纺织等 18 家典型工矿企业废水中 TN、TP、COD_{Mn} 等主要污染物质排放强度及特征基础上，估算了溧阳市工业行业的万元产值排污系数及 TN、TP、COD_{Mn} 的年排放量．2000 年度溧阳市全市工业行业年排放 TN 479.9t，TP 40.8t，COD_{Mn} 的 1529.7t，约占太湖外源性污染负荷的 2%-3%．造纸、印染、化工、纺织等行业的万元产值排污系数较其它行业为高．被调查企业排污口废水中 TN、TP、COD_{Mn} 等污染物排放强度具有夜间高于白天等日变化特征．

关键词　工业污染源　排污系数　溧阳市　富营养化　太湖
分类号　X703

溧阳市(N31°09'-31°40',E119°08'-119°36')位于太湖流域西部宜溧河中、上游．地处苏、浙、皖三省交界处，总面积 1536km²．2000 年总人口 79 万人，工农业总产值 157.3 亿元，是太湖西部入湖水源地带的重要新兴城市．溧阳市境内河网交错，库塘星罗棋布．地形特征为南、西、北三面较高，腹部与东部地区低平．太湖西北部主要入湖河道南溪干流（宜溧河）自西向东从境内穿过，下游流经宜兴市后由大浦口注入太湖，是太湖入湖河道的主要点污染源之一[1,2]．2001 年夏、冬季，作者对溧阳市化工、纺织、食品、建材、机械、冶金、电镀等主体产业的 18 家典型工矿企业进行了较详细的污染源调查，分析了溧阳市工矿企业 TN、TP、COD_{Mn} 等主要污染物排放强度和特征，估算了溧阳市主要工业行业的万元产值排污系数及 TN、TP、COD_{Mn} 等主要污染物的年排放量，初步讨论了溧阳市城市发展对宜溧河水水的影响．为太湖水体富营养化污染控制和治理提供了实测资料与相关对策．

1　采样和分析

选择溧阳市化工、纺织、印染、食品、冶金、电镀等主要行业的代表性厂家，于夏、冬两季定时、定点同时采集排污口废水样品．按湖泊富营养化调查规范[3]要求，用过硫酸钾硝解法同时测定 TN、TP；COD_{Mn}．采集宜溧河流经溧阳市前后各个断面水样，与工矿企业排污口废水样品一起进行同步分析．收集被检测厂家的年废水排放量、年工业总产值等资料，估算溧阳市各工业行业万元产值排污系数及行业年负荷．

2　结果和讨论

2.1 典型行业排污口废水污染物年平均浓度

* 中国科学院知识创新项目(KZCX2-31)资助项目．
2002-05-31 收稿；2002-11-20 收修改稿．杨龙元，男，1945 年生，副研究员．

2001 年溧阳市化工、纺织、食品、建材、机械、冶金、电镀等主体行业的 18 家典型工矿企业排污口废水中 TN、TP、COD_{Mn} 等污染物质年平均浓度值随工业行业的不同有较大差异(表 1). 在被调查的 18 个行业中，造纸行业排污口废水中有机污染物(以 COD_{Mn} 表示)的平均浓度最大，达 431.1 mg/L，最大值高达 653.6 mg/L；其次分别为电镀、电子(电容器)、印染、化工、橡胶塑料、皮革和酿造等行业.这些行业的代表性企业排污口废水中 COD_{Mn} 的平均浓度均大于 20mg/L. 工业排污口废水中 TN 的浓度以电镀行业最大，达 48.43 mg/L，最大值为 87.66 mg/L；其次分别为化工、印染、机械和食品行业. 而废水中 TP 浓度则以电子和印染行业为最大，分别达 6.43 mg/L 和 4.00 mg/L；其次为机械、化工和酿造等行业.

表 1 溧阳市典型行业工业废水中污染物质浓度

Tab. 1 The concentrations of pollutants in waste water of typical industry vocations in Liyang city

行业类型	典型工厂年产值	污染物质浓度 (mg/L)					
		TN		TP		COD_{Mn}	
	(万元)	变动区间	平均值	变动区间	平均值	变动区间	平均值
造纸	2986	2.91-5.75	4.63	0.280-0.752	0.42	39.57-853.6	431.1
电镀	10333	13.10-87.66	48.43	0.156-0.430	0.33	6.65-315.2	159.5
电子	2000		8.01		6.43		120.9
印染	500	1.76-151.2	31.39	0.177-22.63	4.00	4.69-210.6	55.4
无机化工	33957	10.79-58.30	32.26	0.330-2.670	1.42	14.07-80.24	46.7
橡胶塑料	78398	6.35-9.10	8.18	0.410-0.650	0.52	15.31-69.79	31.1
皮革	5000	4.03-13.63	8.83	0.370-0.864	0.62	14.37-32.03	23.2
酿造	21847	2.94-8.63	5.20	0.860-1.600	1.25	9.58-37.01	22.2
食品	3000	8.03-13.26	10.65	0.275-1.110	0.69	7.29-21.57	14.4
机械	5500	13.71-40.97	24.67	0.863-3.470	1.96	8.92-19.35	13.5
纺织	4500	4.17-8.47	5.03	0.033-0.480	0.28	7.80-33.03	11.2
五金	2000	2.23-2.77	2.50	0.190-0.350	0.21	8.86-10.21	9.1
有机化工	5512	2.96-10.28	6.53	0.042-1.410	0.59	4.98-15.54	9.0
建材	1500	6.06-10.44	7.41	0.200-0.650	0.34	7.58-10.55	8.8
非金属矿物制造	10000	2.47-3.78	3.18	0.162-0.310	0.24	4.19-9.18	6.4
冶金	2100	7.84-10.90	9.37	0.209-0.440	0.32	3.71-9.03	6.4
制药	44708	0.59-1.15	0.87	0.100-0.150	0.13	4.38-5.19	4.8
电力	6000		1.02		0.02		0.1

2.2 污染物排放强度日变化

印染、无机化工和丝织等行业的 3 家典型企业废水排放量强度日变化具有不同的特征(图 1). 印染业排污口废水排放量 Q 的曲线比较平稳，日变化起伏不大.但是废水排放量曲线形状具有明显的单峰型特征. 废水排放量 Q 曲线在天黑以后逐渐增强,延续至凌晨 2：00 左右达全天的最大排放量 46.62 m^3/h；此后废水排放量逐渐下降，约于白天 14：00 左

右下降至最低值．无机化工企业的废水排放量曲线具有 2 个峰值，属双峰型．2 个峰值分别出现在每天的 20：00 和深夜 2：00．深夜 2：00 至 5：00 出现第 1 个峰值；之后逐渐下降，8：00 左右废水排放量稳定在约 20 m^3/h；14：00 至 17：00 时废水流量迅速上升，至 17：00 达最高值．而丝织业排污口废水排放量 Q 曲线与上列二个行业的曲线形状又有一定程度的差异．2 个排放量高峰值分别出现在上午 9：00 至下午 15：00 和深夜 23：00 左右，这也许与丝织业工厂一般集中在白天开工的生产特性有关．

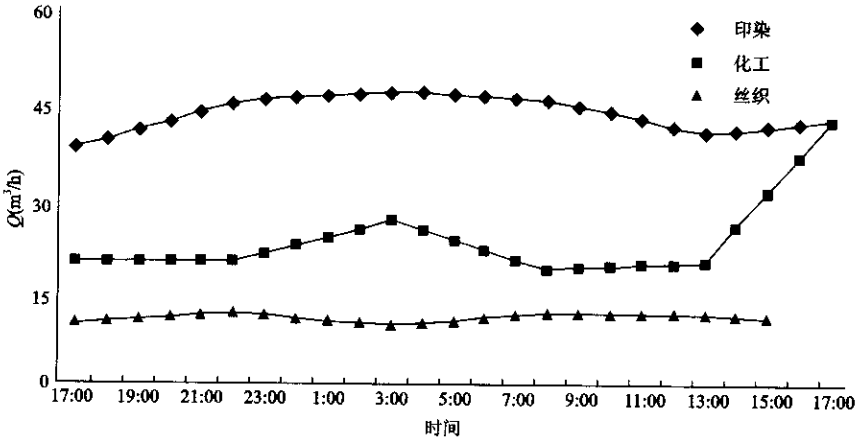

图 1 典型工厂废水排污强度日变化

Fig.1 The diurnal variation of discharge density in the wastewater of typical factories

印染、化工等行业具有大致相类似的 TN、TP、COD_{Mn} 排放强度日变化曲线(图 2)．其中印染业 TN 的排放强度曲线则具有 3 个明显的峰值，分别出现在夜间 10：00 至 11：00，凌晨 6：至 7：00 和中午 12：00 至 13：00 COD_{Mn} 和 TP 的排放强度夜间均大于白天；高值出现在深夜 0：00 至 4：0 之间．下午 20：0 至次日上午 8：00 的 TN、TP 和 COD_{Mn} 的累计排放量分别占全天排放量的 70.07%、77.79%和 65.37%．无机化工废水也有类似的排放特征.除少数时段外，表征 TN、TP 和 COD_{Mn} 的排放强度曲线的变化趋势与废水排放强度曲线相类似．化工业 TN、TP 和 COD_{Mn} 的 3 条曲线与废水排放强度曲线 Q 的相关系数分别达 0.9543，0.8765 和 0.6979(n=20)．表明 TN、TP 和 COD_{Mn} 的排放强度主要由工矿企业的废水排放量所制约.即当废水排放强度增强时，TN、TP 和 COD_{Mn} 的排放强度一般随之增大，反之亦然．

丝织业废水中污染物排放量曲线形状有别于印染、化工行业.特别是 COD_{Mn} 的排放强度曲线自 16：00 起不断上升，至 23：00 达最高值，强度增强了近 4 倍；次日 02：00 回落至低排放强度状态，延续 09：00-10：00 达第 2 个小高峰．作者认为丝织业排污口废水 COD_{Mn} 的排放强度曲线在溧阳市各个厂矿企业中具有一定的代表性． 09：00 至 15：00 通常是工业生产用水高峰期间，排污口废水排放强度较大是可以理解的；出现在深夜 23：00 左右的排污高峰也许是由管理原因或该类企业的特殊生产工艺所造成，有待于今后作进一步探讨．

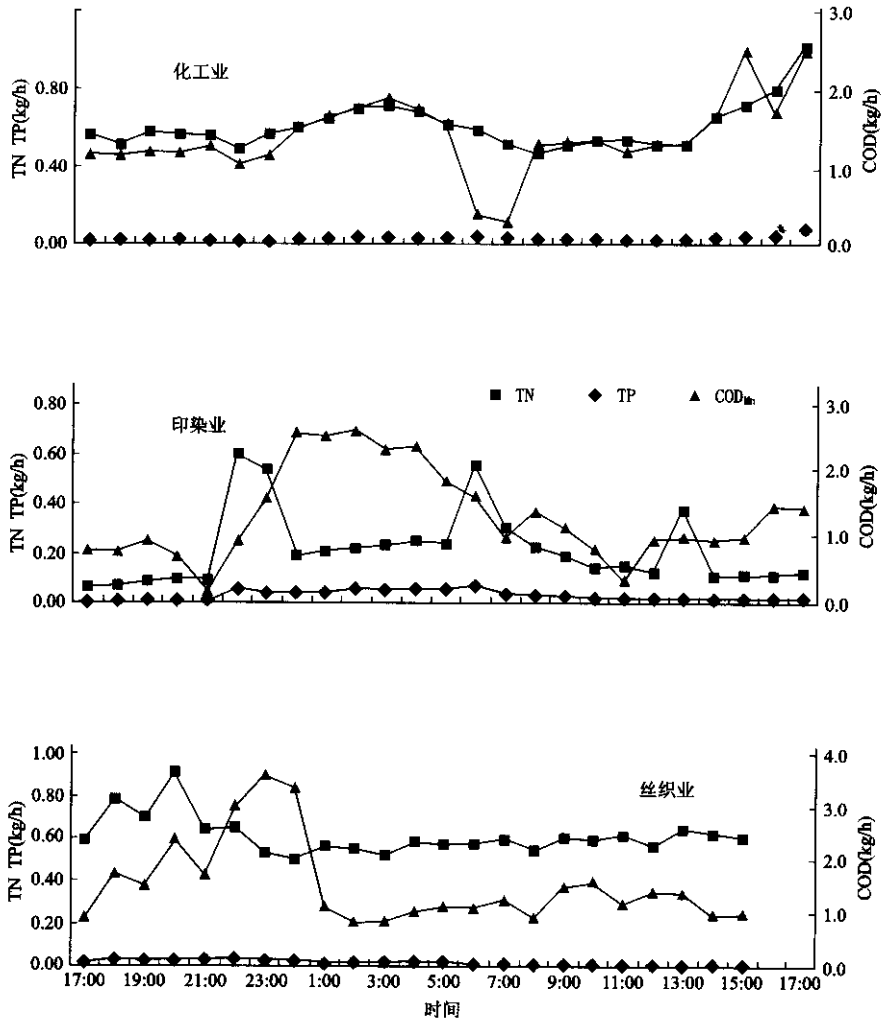

图 2 不同行业工业污染物排放日变化特征

Fig.2 The diurnal variation characters of industrial pollutants discharge in difference vocations

2.3 溧阳市主要工业行业污染物年排放量

2000 年度溧阳市工业总产值 1352334 万元，本研究所考查的无机化工等 18 个主要行业年产值大于 500 万元以上工矿企业累计产值计 778573 万元，占溧阳市工业总产值的 57.6%；所考查的 18 家有代表性的典型企业 2000 年工业总产值为 239841 万元，占所代表的 18 个典型行业工业总产值的 30.81%，所得观测数据具有较好的代表性．据此，作者估算了 2000 年溧阳市典型工业行业万元产值排污系数和 TN、TP 和 COD_{Mn} 等污染物年排放总量(表 2)．

在被调查的 18 个行业中，造纸行业的有机污染物万元产值排污系数为最高，达 793.1kg/万元.其次是印染、化工、酿造等行业；而 TN、TP 万元产值排污系数最高的行业是印染业，分别达到 9.04 kg/万元和 1.15 kg/万元.其次是化工、造纸、酿造等行业．

2.4 溧阳市工业发展与太湖水质富营养化的关系

湖泊水体的富营养化是与其流域内人类活动、工农业生产造成的点、面污染源的分布和强弱密切相关的．工农业的发展，人类活动能力的加强，使湖泊流域内的点源、面源污染日益成为下游受纳水体水生植物营养盐的主要来源．地处太湖上游水源地区的溧阳市工农业的快速发展必然影响到太湖受纳水体的水质．以 2001 年 12 月实测的溧阳市区工矿企业及生活污染源对南溪干流宜溧河水质的影响为例，自上游源头水域起，宜溧河沿途断面河水中 TN、TP、CODMn 的浓度逐步升高.当宜溧河河水流入溧阳市前，河水中 TN、TP、CODMn 的浓度已比源头水域分别增高了 19.7%、59.7%和 12.5%；而宜溧河河水流经溧阳市市区后，由于接纳了溧阳市工矿企业和生活日常用水产生的大量废水，流出溧阳市的断面水体中 TN、TP、CODMn 的浓度较流入溧阳市水体又分别增高了 6.7% 21.7%和 4.6%（图 3）．表明溧阳市工农业生产和居民活动对河水的污染是相当显著的.此后，宜溧河在进入西酒前的断面水体中 TN、TP、CODMn 的浓度有所下降，这可能是水体的自净作用，使宜溧河河水中 TN、TP、CODMn 的浓度逐渐下降所致.2000 年，溧阳市造纸等 18 个行业 2000 年 TN、TP、CODMn 年排放量观测统计值为 479.9、40.8 和 1529.7t(表 2)．如用黑箱法估算，假设溧阳市造纸等行业排放 TN、TP 和 CODMn 等营养元素污染物质通过径流等各种不同类型的输移途径全部进入河道，同时忽略水体的自净作用注入太湖，则可占太湖水体生态系统 TN、TP、CODMn 年平均入湖总量 28106、1988.5 和 48798.6t[4]的 1.71%、2.05%和 3.13%．溧阳市工业废水对下游太湖水体水质的影响不容忽视．

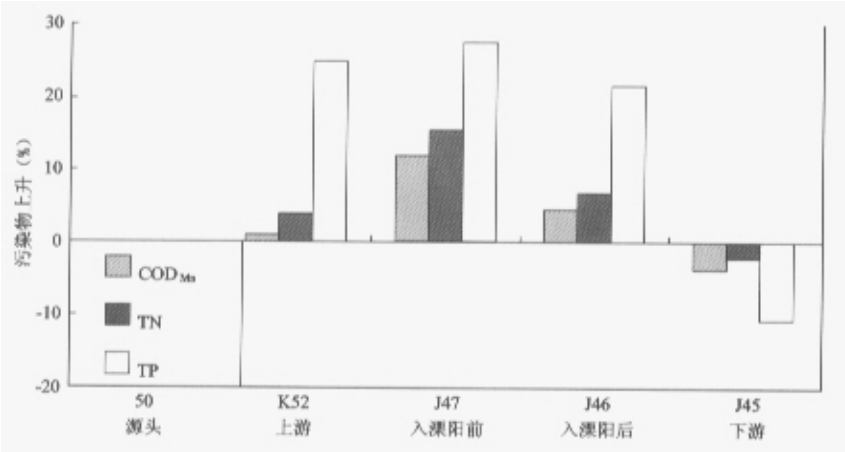

图 3 溧阳市城市废水对宜溧河水体的影响

Fig. 3 The effects on water quality of Yili River by the waster water input from Liyang City

据《溧阳县志》[5]记载，1970 年溧阳市工业总产值仅 4700 万元．工业生产主要以家庭作坊式的轻工业为主，对下游太湖水体水质的影响很小．70 年代末期溧阳工业有了较大规模的振兴.逐步形成了以机械、纺织、食品、化工、建材等产业为主体的工业生产格局.工业生产对太湖流域水体水质的影响也逐渐有所反映．至 1985 年溧阳市已拥有全民和集体工业企业 718 个，工业总产值达 75744 万元.工业总产值占工农业总产值的比重上升到 68.9%.开始形成以工业经济为主体的经济结构.进入 90 年代，溧阳市工业更为迅速，

工业总产值一直维持在较高的发展水平上．2000 年已超过 135 亿元，较 1985 年增长了近 16 倍，是 1990 年的 4 倍.溧阳市工业的发展阶段与太湖水质的演变趋势是大致相同的．60 年代中、后期太湖以Ⅰ-Ⅱ类水体为主；70 年代发展至Ⅱ类水体；80 年代初期的大规模调查认为太湖平均水质已降为Ⅱ-Ⅲ类，较 60 年代下降了一个水质级别； 随蓬勃兴起的乡镇企业和环湖城镇工业生产的发展，80 年代末太湖水体则全面进入Ⅲ类水平，局部为Ⅳ类和Ⅴ类；至 90 年代中期平均已达Ⅳ类，而有三分之一的湖区已降为Ⅴ类水质[6]．因此，以溧阳市为代表的环太湖新兴中、小城镇工业生产排污废水对太湖水体生态系统的富营养化影响及有效治理需引起政府和有关部门的高度重视．

表 2 2000 年度溧阳市工业行业年排污染负荷

Tab. 2 The discharge pollutant loads of main industry vocation in Liyang city of 2000

行业名称	总产值*(万元)	万元产值排污系数(kg/万元)			行业年排污负荷（t）		
		TN	TP	COD_{Mn}	TN	TP	COD_{Mn}
造纸	3815	2.233	0.203	207.900	8.5	0.77	793.1
印染	17134	9.039	1.151	15.941	154.9	19.72	273.1
无机化工	124482	1.330	0.058	1.926	165.6	7.22	239.8
有机化工	25853	4.245	0.381	5.878	109.7	9.85	152.0
电子	132578	0.009	0.007	0.139	1.2	0.93	18.4
纺织	81721	0.092	0.005	0.205	7.5	0.41	16.8
酿造	23190	0.143	0.034	0.610	3.3	0.79	14.1
电镀	34782	0.112	0.001	0.370	3.9	0.03	12.9
机械	106985	0.074	0.006	0.041	7.9	0.64	4.4
食品	27949	0.056	0.004	0.076	1.6	0.11	2.1
电力	5191	2.890	0.051	0.312	15.0	0.26	1.6
非金属矿物制造	62972	0.003	0.000	0.006	0.2	0.00	0.4
橡胶塑料	14973	0.006	0.000	0.022	0.1	0.00	0.3
皮革	6604	0.018	0.001	0.046	0.1	0.01	0.3
冶金	58078	0.004	0.000	0.003	0.2	0.00	0.2
建材	919	0.124	0.006	0.147	0.1	0.01	0.1
制药	8289	0.002	0.000	0.011	0.0	0.00	0.1
五金	43058	0.000	0.000	0.000	0.0	0.00	0.0
累计	778573				479.9	40.76	1529.7

* 溧阳市统计局，2000 年全部国有及年产品销售收入 500 万元以上工业企业分行业主要经济指标（一）.2000 年溧阳市统计年鉴．116-119．

2.5 治理对策

2.5.1 兴建大型工业废水污水处理厂 溧阳市工矿企业主要污染物排放特征研究表明，典型企业产生 TN、TP、COD_{Mn} 等污染物质的负荷与排污口废水排放量间呈密切正相关．减少各工矿企业直接排放进入河道的工业废水量，是控制并减少太湖水体富营养化污染趋势的重要途径．建议在溧阳市现有工业、生活污水处理能力的基础上，再兴建适量大型工业废水污水处理厂，提高城管部门污水处理能力，对全市污染行业的工业废水进行统一处理，

做到达标排放.同时强化管理，提倡利用循环水.

2.5.2 调整工业产业结构　化工、印染、电镀、造纸等行业产生大量 N、P 和有机污染物，严重影响下游河道和受纳湖泊水体水质.建议对太湖流域，特别是太湖西部和西北部地区各中、小城市的工业结构进行调整.减少化工、印染、电镀、造纸等行业在工业结构中所占的比重.坚决关停并转某些污染严重，产值较低，TN、TP、COD_{Mn} 的万元产值排放系数大的企业.适当增加五金、冶金、建材、制药等行业的比重.实现“清洁生产”.

2.5.3 加强环保教育，强化执法力度，禁绝偷排、超标排放污水事件　溧阳市工矿企业主要污染物排放曲线日变化特征表明，在化工、印染、纺织等行业中存在着夜间偷排、超标排放工业污水的现象.应加强对各级领导和工矿企业职工的环保意识教育，强化环保部门的执法力度，从法制上采取有效措施，禁绝偷排、超标排放污水事件的发生.

3　结论

溧阳市 2000 年度 18 个主要工业行业年排放 TN 479.9t，TP 40.8t，COD_{Mn} 的 1529.7t.占太湖外源性污染负荷的 2%-3%．溧阳市的工业结构以化工、机械、纺织等行业为主.造纸、印染、化工、纺织等行业的万元产值排污系数较高.工业废水中 TN、TP、COD_{Mn} 等污染物排放强度具有明显的夜间高于白天的日变化特征．溧阳市区工业生产和城市居民生活用水对贯穿全市注入太湖的宜溧河水营养元素污染物有明显的正影响.

参　考　文　献

1　许鹏柱，秦伯强，黄文钰等．太湖流域宜溧河地区水体水质状况及营养状态评价.湖泊科学，2001，13(4):315-321

2　李荣刚，罗源陵，吴宴之等．江苏太湖地区水污染物及其向水体的排放量．湖泊科学，1998，10(3):1-9

3　金相灿编．湖泊富营养化调查规范.北京：中国环境科学出版社，1990：138-207

4　黄漪平主编．太湖水环境及其污染控制．北京：科学出版社，2001：218-223

5　钱选青主编．溧阳县志．南京:江苏人民出版社，1988：275-276

6　范成新．太湖水体生态环境历史演变．湖泊科学，1996，8(4)：297-300

Characteristics of Industrial Wastewater Discharge in a Typical District of Taihu Watershed: A Case Study of Liyang City, Jiangsu Province

YANG Longyuan, FAN Chengxin & ZHANG Lu

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P.R.China)

Abstract

This study investigated the discharge character and intensity of main pollutants as TN, TP and COD_{Mn} etc. by industrial manufactories in Liyang City, Jiangsu Province of Taihu basin. The manufactories were included the 18 typical vocations such as chemical engineering, textile and so on. The discharge coefficients of pollutant over products of 10000 *yuan* and the annual discharge pollutant loads of main industry vocations in Liyang City were calculated. The total annual discharge amounts of TN, TP, COD_{Mn} are 479.9 t, 40.8 t and 1529.7 t by industrial vocations in the city, respectively, equivalent to 2%-3% of external source pollutant loads in Taihu Lake. The discharge coefficients of pollutant over products of 10000 *yuan* that produced by papermaking, printing and dyeing, chemical engineering and textile industry are extremely higher than others. The evidence has been found that pollutant discharge intensity at the industrial waste streams that was monitored in the nighttime was usually higher than those in the daytime.

Keywords: Industrial pollutant source; discharge coefficient; Liyang City; eutrophication; Taihu Lake