

# 温瑞塘河水环境社会压力的网格化分析

刘慧霞,李 军,李延成,张明华

(温州医学院 水域科学与环境生态研究所,浙江 温州 325035)

**摘要:**以典型的平原河网——温瑞塘河为例,对河道进行 25 m×25 m 网格化,并利用 Voronoi 图确定网格化河道点影响范围,从而把网格化河道点与土地利用现状、企业分布等无缝关联成一个整体。以建设用地为纽带,完成了社会经济统计数据与网格化河道点的关联和细分。以污染源普查数据为依据,实现了宏观经济与微观网格化河道点的结合。分析结果表明:温瑞塘河水环境社会压力超负载,其空间分布失衡,导致这一现象的本质是人口问题。河道网格化是城市水环境污染精细化分析、模拟与管理的有效手段。

**关键词:**温瑞塘河;水环境社会压力;网格化;土地利用现状

**中图分类号:**X24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2010)12-0052-05

我国流经城市的河流 90% 受到严重污染,城市水环境面临的形势十分严峻<sup>[1]</sup>。自 1996 年国务院颁布《国务院关于环境保护若干问题的决定》以来,对污染物的控制就已从基于浓度控制的管理模式转移到基于总量控制的决策上来,这是中国环境保护战略的一项重大举措<sup>[2-3]</sup>。与此同时,环境容量作为一种有价资源,也逐渐被认识和重视<sup>[4-6]</sup>。为了更好地利用环境容量这一资源,必须对污染源进行大量调查与评价,并利用这一成果指导科学决策,实现污染物总量控制。为此,各地区耗费了大量人力、财力进行了污染源普查,形成了大量的普查数据。如何更有效地利用这些数据来指导水质监测、水质模型的率定、水环境承载力的研究是一个值得研究的课题。

水环境的研究是一个涉及多学科、多因素的复杂大系统,它的优劣直接关系到一个地区的经济发展和社会文明程度。为了对水环境监测、污染源普查和社会经济发展进行整合研究,现以温瑞塘河为具体案例,利用地理信息系统(GIS)技术为手段、以河道网格化为基础,利用 Voronoi 图确定网格化河道点影响范围,进而把网格化河道点与建设用地、农用地等无缝整合成一个整体,实现了污染源普查数据与网格化河道点的关联,实现了将社会经济统计数据从乡镇街道等大单元细分到网格化河道点。这种宏观与微观的结合,也

实现了水环境社会压力的逐点现状分布显示、模拟分析和预测。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

温瑞塘河位于中国浙江省温州市瓯江以南、飞云江以北的温瑞平原,属鹿城、瓯海、龙湾、瑞安三区一市管辖,水源主要来自瞿溪、熊溪、郭溪以及大罗山和集云山的山涧溪流,流域面积 740 km<sup>2</sup>,水系河网总长度 1 178.4 km,水面面积 22 km<sup>2</sup>,正常水位蓄水量 6 500 万 m<sup>3</sup>。曾是温州市城镇重要的饮水水源,直至建国初期,温州境内的水系河网仍然十分发达,水环境质量仍然很自然和谐。然而随着城市的发展,特别是近 20 多年的建设快速发展,外来人口大量涌入,环境基础设施建设却严重滞后,许多河流被填埋,旧城的空间格局被损害,生活、工业、农业污水长期大量直排入河,塘河流域产生了诸多水环境问题,地表水质已经由 II 类或 III 类变成了 V 类甚至劣 V 类。据《2008 年温州市环境公报》可知,平原河网水质均为劣 V 类,许多河段发黑、发臭,失去作用。

该文研究区域以贯穿温州城区的温瑞塘河温州市区段为对象,具体指由瓯江和城区周围山脊线围成的近乎封闭的小流域。这一小流域的总面积为 437 km<sup>2</sup>,其中山林地为 198 km<sup>2</sup>,平原地为 239 km<sup>2</sup>,河流 18.7 km<sup>2</sup>,建设用地 106.9 km<sup>2</sup>(主城区主要分布在鹿城区),农用地 92.8 km<sup>2</sup>,园地 41.5 km<sup>2</sup>。据《2009 温州统计年鉴》,这一小流域内总人口为 244.96 万人,其中外来人口 144.17 万人,2008 年 GDP 为 1 093 亿元,其中工业 GDP 为 534 亿元。

### 1.2 数据来源与研究方法

#### 1.2.1 数据来源 2003~2020 年温州市城市总

收稿日期:2010-10-08

基金项目:浙江省科技厅重大专项资助项目(2008C03009);温州市重大专项资助项目(20082780125)

第一作者简介:刘慧霞(1984-),女,湖北省孝感市人,在读硕士,从事地理信息系统在环境中的应用研究。E-mail:yyhxqx@163.com。

通讯作者:张明华(1956-),女,浙江省温州市人,现为美籍华人,博士,教授,从事环境生态学研究。E-mail:mhzhang@ucdavis.com。

体规划数据以及 2004 年 1:2.5 万土地利用现状图来源于温州市规划局网站;2004 年 0.5 m 分辨率遥感影像图以及 2004 年河流、道路、注记、街道界线等基础地理数据来源于温州市温瑞塘河保护管理委员会;以乡镇街道为单元的社会经济统计数据来源于《2009 温州市统计年鉴》《2009 温州年鉴》和《2009 瓯海区年鉴》;2010 年工业企业及其分布图来源于数字温州网站;2008 年《温瑞平原河网水污染防治规划》来源于温州市环保局。

1.2.2 数据的筛选和指标体系的建立 2004 年底温州市人民政府颁布实施《温瑞塘河水污染综合治理实施纲要》(以下简称“纲要”)。“纲要”明确阐述了温瑞塘河水污染原因,具体归为 9 类:生活污水、工业污水、餐饮业污水、畜禽业污水、直排公厕污水、固体废弃物污染、农业面源污染、地表径流污染和河床底泥污染。2007 年温州市又对污染源进行了详细普查,对普查的结果进行整理、筛选、统计和分析(见表 1)。

表 1 2007 年温州市污染源普查统计

辖区	统计指标	城镇	农村生	经营性场所	工业	农业	畜禽养殖
		生活污水	活污水	企业污水	污水	污染	业污水
鹿城区	污水排放总量/万 t·a <sup>-1</sup>	10834.2	354.05	792.04	1652.75		2.16
	COD/t·a <sup>-1</sup>	29879.53	1062.15	5720.06	1549.95	43	33.00
	氨氮/t·a <sup>-1</sup>	4182.25	87.60	106.73	45.45	9	2.84
	TP/t·a <sup>-1</sup>	543.88	18.25	39.76		1	2.00
龙湾区	污水排放总量/万 t·a <sup>-1</sup>	2525.58	580.35	122.84	992.88		1.93
	COD/t·a <sup>-1</sup>	15625.26	1741.05	1321.57	5313.52	40	32.88
	氨氮/t·a <sup>-1</sup>	2187.07	146.00	19.15	131.21	8	2.87
	TP/t·a <sup>-1</sup>	126.78	29.20	6.17		1	2.14
瓯海区	污水排放总量/万 t·a <sup>-1</sup>	3272.80	551.15	169.18	448.33		31.79
	COD/t·a <sup>-1</sup>	14464.35	1653.45	1340.18	1104.41	1531	627.15
	氨氮/t·a <sup>-1</sup>	2024.58	138.70	28.79	31.97	306	57.21
	TP/t·a <sup>-1</sup>	164.29	25.55	8.49		51	47.49

注:表中龙湾区、鹿城区农业污染数据仅是研究区域内部分乡镇街道数据。

鉴于对温瑞塘河污染原因的分析以及污染源数据的统计,现把温瑞塘河水环境压力的构成分解为生活、农业、工业压力三大类。

生活压力通常可由人口规模、人口结构、人口素质、人均生活水平等因素来反映。研究城市水环境问题,生活压力则可以用生活垃圾、经营性场所污水和生活污水的产生和处理量来衡量。鉴于 2006~2009 年对该研究区范围内垃圾量的调查发现,垃圾几乎都用来集中焚烧发电,处理率都在 92% 以上,因此为了简化指标数量,此处忽略了它的影响。生活污水是温瑞塘河的最主要污染物,它每天排入温瑞塘河的总量为 44 万 t,每年约 1.6 亿 t,其中主要包括居民厨房用水、洗涤用水和冲厕用水。调查数据表明:城市生活污水的处理率只有 58%,并且农村生活污水处理率几乎为 0。为了进一步简化研究,现将城乡结合部的河流周边的直排公厕年入河量达 530 万 t 的污水列为农村生活污水;沿河农贸市场、餐饮服务业等所产生的污水列为经营性场所污水。因此,城镇生活污水、农村生活污水和经营性场所污水构成了生活压力的三大部分。

农业压力主要来自农村和城乡结合部处的畜禽养殖以及农业污染。农业污染包括农业生产中使用的肥料、农药、农用薄膜、农作物秸秆、农田径

流、农村生活污水(将其归为了生活污水,因此,此处不考虑这一因素)等<sup>[7]</sup>。就该研究区来说,沿河畜禽养殖户的养殖废水就近排入河道,年入河量达 530 万 t,成为了温瑞塘河的第二大污染源。农业污染比例相对来说较小(仅占污水构成比例的 1.45%),根据指标的代表性以及获取的难易程度,选用农田径流失指标来衡量塘河流域的农业污染。因此,农业压力则由畜禽养殖污水量以及农田径流量决定。

工业压力可以采用工业企业数量、工业废水排放量、工业废水排放达标量等来衡量。若将这些因素与城市水环境联系起来,工业压力则主要考虑工业污水和工业固体废弃物。鉴于 2006~2009 年对该研究区范围内工业固体废弃物的调查发现,虽然工业固体废物产生量很高,但综合利用量、处置量很高,因此该研究仅采用工业污水量来衡量工业压力。

1.2.3 地理数据整合 对纸质的 1:2.5 万土地利用现状图矢量化,提取旱地、灌溉水田、园地、林地 4 种地类图斑。从最新的遥感影像图上提取全部建设用地图斑,结合原有的河流、道路、街道界线、注记等数据形成完整的基础地理数据。由于政府公布的社会经济统计数据最小统计单位是乡镇街道,在此利用数据库将这些统计结果赋值到

乡镇街道空间数据上,实现了地理数据与统计数据的基本整合。

1.2.4 河道网格化处理 为了对流域中每条河道进行逐点压力分析,采用了GIS软件对河道进行网格化。GIS模型网格化就是把数据分块加工,分步加工和立体加工,把模型单一复杂问题的求解切分到各个节点上处理<sup>[8]</sup>。综合考虑河道的平均宽度、网格的代表性、网格的连通性和网格数据量的多少,采用GIS软件对河道进行了25 m×25 m网格化,即所得的每个点代表25 m×25 m网格河道面。

1.2.5 指标值与网格点关联 所研究的温瑞塘河小流域包含瓯海区12个街道、鹿城区15个街道和龙湾区2个街道。农用地几乎全部分布在瓯海区,主城区属于鹿城区。为了计算每个网格化河道点的社会压力,把以乡镇街道为单位的统计数据细分到网格化河道点是问题的关键。

生活压力与人口密切相关,而建设用地主要

又受人口因素的影响<sup>[9-11]</sup>,因此需要利用建设用地分析人口的空间分布,进而得出生活压力的分布情况。第1步,计算每个街道内每平方米建设用地的面积并将其作为系数;第2步,利用系数计算每块建设用地图斑上的人口数;第3步,将建设用地图斑与网格化河道点关联;第4步,将建设用地图斑上的人口数平均分配到相关联的网格化河道点上。采用网格化河道点形成Voronoi图作为其影响范围,与建设用地图斑进行空间叠加,实现了建设用地图斑与网格化河道点的有效关联(见图1a)。农业压力与农用地土地利用图斑面积以及地类因素相关,可以利用此方法将其与网格化河道点关联(见图1b)。工业压力主要与工业企业的分布相关,而所得的工业企业又是一种点状数据,通过求算其与网格化河道点的最短距离点,就可以将两者关联起来(见图1c),从而得出工业压力的分布情况。

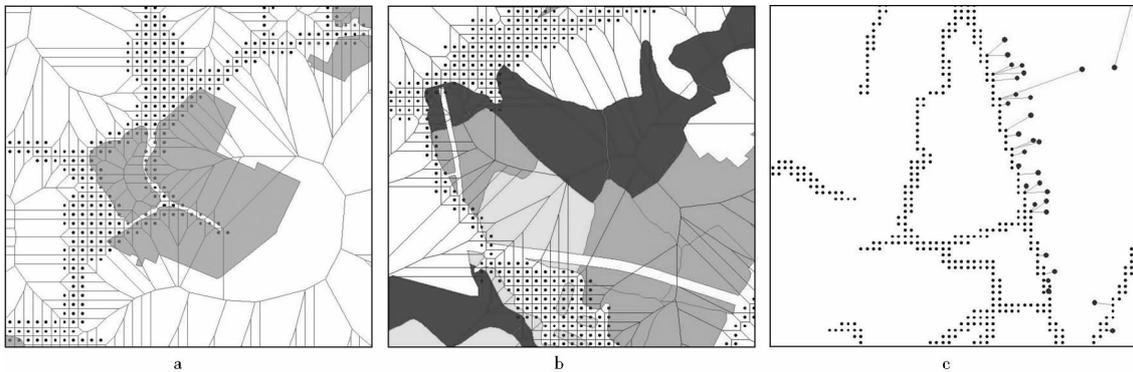


图1 利用网格化河道点形成Voronoi图与建设用地、农用地、工业企业三者关联示意图

## 2 结果与分析

### 2.1 污染源普查结果分析

根据2007年温州市污染源普查成果,按表1中的6项指标给每个乡镇街道赋属性值,并利用上述方法,依据建设用地类型(城镇和农村)、农用地分布、工厂分布等将污染物指标值分别分解到河道网格点上,得出温瑞塘河水环境3种压力分布图(见图2)。其中图2a为日产生活污水总量分布,表示与每个25 m×25 m河道网格点上直接关联的全部城镇生活污水和农村生活污水;图2b为日产经营性场所企业污水总量分布,表示与每个25 m×25 m河道网格点上直接关联的沿河农贸市场、餐饮服务业污水;图2c为日产畜禽业污水分布,表示与每个25 m×25 m河道网格点上直接关联的畜禽业污水量;图2d为日产工业污水总量分布,表示与每个25 m×25 m河道网格点直接关联的工厂工业污水排放量。

由图2a可知,生活污水量大的区域主要分布在位于鹿城的主城区。统计其关联的网格点数目,了解到超过600 t的网格点总共才有61个,而其累积的生活污水量已达到了 $1.12 \times 10^5$  t。由此可见,主城区的生活压力处于高负荷的状态。结合人口统计结果会发现,这一区域人口数量异常大,而生活污水又与人口因素密切相关,因此得出初步结论:生活压力主要受人口数量支配,不均匀的人口分布,将会直接带来巨大的生活压力。

从图2b看出,经营性场所企业污水大部分聚集在主城区及其周围。分析产生这一现象的原因则主要包括:大量人口涌入主城区,给当地的商业带来了繁华的景象,与此同时,人们对物质和精神生活的追求也大幅度提高。餐饮业和服务业等也随之迅速发展起来。这必将给有限的城区带来巨大的环境压力。鉴于这种发展趋势,当地政府也

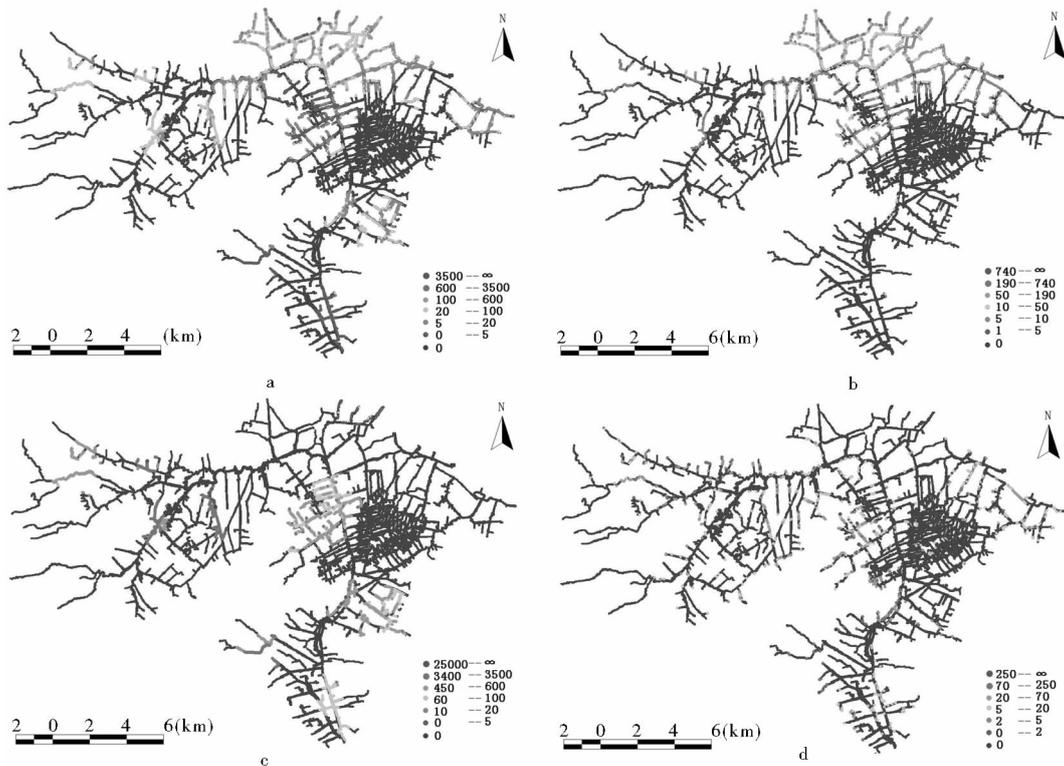


图2 温瑞塘河水环境3种压力日产污分布

正在积极地采取相关措施,如最新城市总体规划中已经体现了将城市东移的思想等。这将促进了新片区的开发,也将减轻主城区的环境压力。

结合研究区乡镇街道分布和图2c显示情况,发现畜禽养殖污染压力严重的区域主要分布在位于娄桥街道、潘桥镇、郭溪镇、梧田街道,南白象街道的河道。它和实际畜禽养殖场的分布情况紧密相连。因此,规范化畜禽养殖区,调整畜禽养殖场布局,进行畜禽养殖综合环境整治,将畜禽养殖污水资源化、无害化和减量化是关键。

由图2d可见,靠近温瑞塘河上游的主河道工业压力相对其它区域要大。实际调查中发现,位于塘河上游的区域工厂分布比较密集,所设立的工厂大部分为制鞋、制革、造纸等会产生大量污水的大型企业;位于梧田街道、绣山街道等地的河道周围分布着一些违章建设的小作坊。以上企业一方面给社会经济的发展产生了巨大的经济效益,一方面又使当地的水环境面临着极大的压力。因此相关政府应该投入大量的精力和物力,建造一些有效的污水处理设施,如针对污染产生的主要原因建立相对应规模的污水处理厂;通过长期实时监测污水的流量,精确计算由每个工厂产生的污水总量,建立完善的纳污截留管道。

### 2.2 水环境人口压力

将2009统计年鉴中以乡镇街道为统计单位的户籍城市人口、农村人口和外来暂住人口,以建设用地面积为依据、依网格化河道点与建设用地图斑的关联数为条件细分到网格化河道点,并将人口数按对数共分为了11级,形成了温瑞塘河水环境人口压力空间分布图(见图3)。

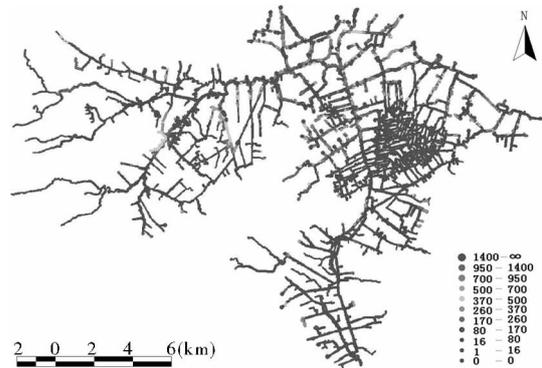


图3 温瑞塘河水环境人口压力分布

从图3可看出,与每个25m×25m河道网格点上直接关联的人口数的密集程度,它包含了户籍城市人口、农村人口和外来暂住人口。对人口压力分布属性数据进行统计分析(见表2),说明此区人口压力过大。

表2 人口压力分级及其网格累积度

级别	总人口分级范围	网格累积数	网格累积度/%
1	1400~24000	137	0.26
2	950~1399	214	0.40
3	700~949	347	0.66
4	500~699	535	1.01
5	370~499	837	1.58
6	260~369	1362	2.57
7	170~259	2556	4.83
8	80~169	5775	10.90
9	16~79	12581	23.75
10	1~15	15663	29.57
11	0	52970	100.00

### 3 结论与讨论

在温瑞塘河市区小流域范围内,全部平原河网被网格化为 52 970 个单元,而 2008 年末总人口为 244.96 万人(户籍人口 100.79 万人,外来人口 144.17 万人),因此单位网格平均人口压力为 46 人。然而,统计数据表明:单位网格人口压力达到 80 人以上的网格共有 5 775 个,占整个河网的 11%,这充分说明这些区域的人口压力过大。温瑞塘河水环境的社会压力空间分布极其不平衡,究其原因发现产生这一现象的本质是人口的空间分布不均衡,也是一个地区 GDP 增长对外来劳动力的强烈需求。温州市 2003~2020 年城市总体规划中提到,温州城市发展按照“东拓、西优、南连、北接”的策略:东部向永强、洞头拓展;西部以生态保护、水源涵养、优化发展为主,限制大规模开发建设。这种老城区限制发展,新城区则高强度开发的策略,使得位于温瑞塘河东侧与下游的新城市中心区大批人口转移,使温瑞塘河人口压力分布趋向合理化。

该研究成功地将污染源普查数据与 GIS 软件结合在一起,通过对污染源数据的整理、分析和统计计算、优化处理等,实现了对普查数据信息化管理,也

实现了数据资源的共享,从而避免了不同部门工作的交叉,提高了工作效率,也为环境规划、决策提供了技术支持和服务。对于流域水环境压力尚小的生态保护区,环保工作要继续保持;对于水环境压力过大的区域,如工厂企业等,要建立好相关的污水治理配套设施,使污水达标排放,相关政府部门也应该根据水环境压力的分布情况制定有效的政策法规;流域周围的居民也应该加强环保意识,避免先污染后治理,时刻树立起保护环境人人有责的理念,从而保证经济和水环境之间协调发展。

### 参考文献:

- [1] 董哲仁. 河流健康的内涵[J]. 中国水利, 2005(4): 17-18.
- [2] 宋国君. 论中国污染物排放总量控制和浓度控制[J]. 环境保护, 2000(6): 11-13.
- [3] 叶碎高, 郑世宗, 刘红. 山区河道水环境容量及合理配置研究[J]. 水利学报, 2007(10): 573-576.
- [4] 吴邦灿. 资源有价, 环境容量也有价——浅谈排污收费标准定价问题[J]. 环境保护, 1998(10): 45-46.
- [5] 宗建树. 环境容量是有价资源[N]. 中国环境报, 2003-09-29.
- [6] 张亭亭. 海湾环境容量价值研究[J]. 知识经济, 2009(7): 164-165.
- [7] 严建立, 张建江, 方亚伟, 等. 杭州市农业面源污染现状及防治对策研究[J]. 调查研究, 2010(3): 4-8.
- [8] 扈海波, 刘伟东, 李京, 等. GIS 模型网格计算原理及算法[J]. 计算机工程, 2008, 33(2): 34-36, 49.
- [9] 杨传俊, 邓南荣, 刘秀华, 等. 城市建设用地扩展因子分析——以河南省平顶山市区为例[J]. 西南农业大学学报(社会科学版), 2010, 8(4): 12-14.
- [10] 杨介榜, 陈前虎, 吴一洲, 等. 县城环境人口容量及其空间引导研究——以温州市苍南县为例[J]. 城市规划, 2010, 34(5): 82-87.
- [11] Yin Z Y, Susan Walcott, Brian Kaplan, et al. An analysis of the relationship between spatial patterns of water quality and urban development in Shanghai, China[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2005, 29: 197-221.

## Gridding Analysis of Social Stress on Water Environment of Wenrui Tang River

LIU Hui-xia, LI Jun, LI Yan-cheng, ZHANG Ming-hua

(Watershed Science and Environmental Ecology Research Institute of Wenzhou Medical College, Wenzhou, Zhejiang 325035)

**Abstract:** Taking Wenrui Tang River as a case, the river was divided into 25 m×25 m grids. It then overlaid the grids with social and economic drivers such as current land use and industry distributions using Voronoi chart. According to the census of pollution sources, the combination of macroeconomic with micro river points was realized. The results showed that the analyzed land and industry uses had induced environmental stress on the Wenrui Tang River, causing it to surpass its pollution load. It was believed that the phenomenon was caused by an imbalanced spatial distribution of the population. In addition to the conclusions of this analysis, the results of this paper strongly support the usefulness of the gridding methodology as a powerful tool of analysis, able to accurately simulate and model environmental pollution associated with municipal water system management.

**Key words:** Wenrui Tang River; social stress on water environment; gridding; land use current situation