

最大日负荷总量计划在非点源污染控制管理中的应用

梁 博^{1,2}, 王晓燕¹, 曹利平¹

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100037;
2. 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000)

摘要 概述了美国环保局提出的最大日负荷总量(TMDL)计划的背景、发展进程、组成框架,介绍了 TMDL 计划的主要内容、如何确定水质关键管理区,以及 TMDL 计划中评价污染源并估算污染负荷容量的方法。最后对我国非点源污染控制管理提出建议:分地区、分重点、分阶段地实施开发 TMDL 计划,注意开发简单、实用、经济的估算负荷量的模型与技术手段,在总量控制范围内,应保证 TMDL 计划与其他控制措施相结合,计划中应包括公众参与和评论等。

关键词 非点源污染;负荷分配;污染控制管理;最大日负荷总量控制;美国

中图分类号 X32.012 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2004)04-0037-05

与点源相比,非点源污染来源于分散、多样的地区,其地理边界和发生位置难以识别和确定,随机性强、成因复杂、潜伏期长,因而防治十分困难。随着各国政府对点源污染控制的重视,点源污染在许多国家已经得到较好的控制和治理,而非点源污染由于涉及范围广,控制难度大,目前已成为影响水体环境质量的重要污染源。目前无论是发达国家还是发展中国家,现存的环境污染问题都与非点源污染密切相关,而这些污染源的控制与管理从政策上难以制定,所以非点源污染控制与管理是值得研究的一个领域。

美国环保局(EPA-Environment Protection Agency)最早于 1972 年提出 TMDL(Total Maximum Daily Loads),TMDL 为最大日负荷总量,还可以用 TMYL 表达最大年负荷总量^[1]。在美国实施 TMDL 计划后,在点源和非点源污染综合控制方面成效显著。本文重点介绍了其计划背景、发展进程、组成框架及其对我国的借鉴^[1]。

1 TMDL 计划的背景及进展

1.1 背景

TMDL 定义为:在满足水质标准的条件下,水体能够接受的某种污染物的最大日负荷量。它包括污染负荷在点源和非点源之间的分配,同时还要考虑安全临界值和季节性的变化^[1,2]。污染负荷量可以

表示为单位时间的质量、毒性和其他适合测定的指标^[1]。

TMDL 计划的总目标就是识别具体污染区和土地利用状况,并且考虑对这些具体区域点源和非点源污染物浓度和数量提出控制措施,从而引导整个流域执行最好的流域管理计划^[3]。

1972 年美国《清洁水法》303(d)条款及目前 EPA 法规要求各州、领地及部族每两年必须向 EPA 汇报当地水体的整体卫生情况及水体是否达到了水质标准。如果没有达到州、领地和部族所需要的水质标准,EPA 则要求州、领地和部族对这类水体制定并实施 TMDL 计划。EPA 要求各州、领地和部族根据本地的实际情况实施 TMDL 计划。TMDL 是美国《清洁水法》303(d)条款的要求,也是美国国家水质标准的需要^[4]。

1.2 发展进程及实施现状

1972 年《清洁水法》303(d)条款要求州、领地和部族将受污染的水体按优先治理顺序列成清单,并针对这些水体制定 TMDL 计划。1985 和 1992 年 EPA 还颁布了关于 TMDL 计划的具体细则。为了加速国家在发展的前提下达到水质标准和改善 TMDL 计划,EPA 于 1996 年开始,依据《清洁水法》303(d)条款的要求对各州 EPA 的执行情况进行全面评价,1997 年对 TMDL 计划进行了详细的指导性说明,并于当年 8 月出版了指南书,这个指南书指出了当前开发该计划时所产生的问题。根据这些问题,EPA

在联邦顾问委员会法案授权下组成了 1 个委员会 , 这个委员会是由不同背景的 20 个委员组成 , 包括农业、森林、环境方面的专家、工业和州、领地及部族的政府官员。这个委员会在 1998 年发布他们的建议 , 根据这些建议 , EPA 在 1999 年 8 月起草了 TMDL 的新法则。经过较长时间的讨论 , TMDL 计划法则于 2000 年 7 月 13 日颁布^[24~7]。

美国许多州已对受损水体实施了 TMDL 计划 , EPA 为了进一步提高国家的水体质量 , 不断地努力改善 TMDL 计划 , 在 2001 和 2002 两年 , 在当前 TMDL 计划规则下 , 被批准或实施的 TMDL 计划超过 5 000 多个 , TMDL 计划在最后 4 年中每年都以稳定速度上升 , 例如从 1999 年的 500 个上升到 2002 年的大约 3 000 个。一些案例表明 , TMDL 计划对于改善水体质量是行之有效的^[8]。

2 TMDL 计划的组成框架

2.1 一般理论框架

图 1 描述了 TMDL 计划研究的基本过程和主要内容 , 具体过程为 : 识别水质受限制的水体→按优先顺序确定水质指标→最大日负荷总量的确定及分配→执行控制措施→评价水质控制措施。详细内容见图 1。

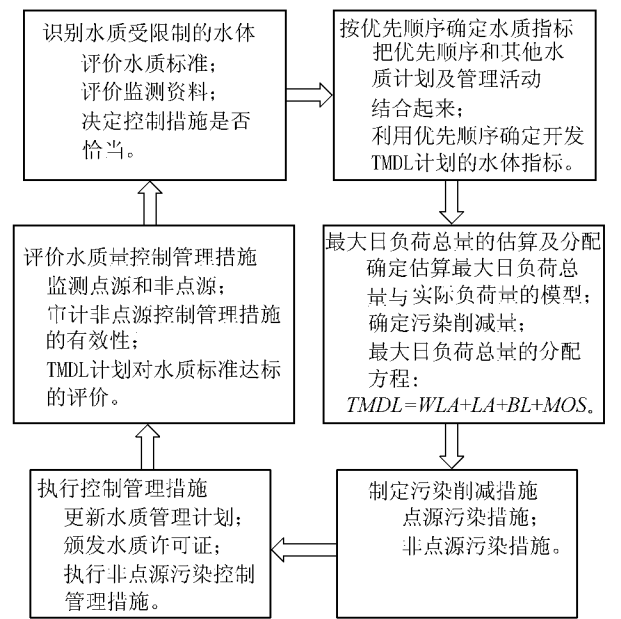


图 1 TMDL 计划研究的一般理论框架

2.2 内容

2.2.1 对受损或受威胁水体列出清单

州、领地和部族必须对受污染物损害和威胁的水体列出清单 , 这个清单是由需要实施 TMDL 计划的水体所组成 , 清单两年一循环 , 一般州、领地和部族在每偶数年 4 月 1 日提交水体的清单 , 但 TMDL

计划最后规则中修改为清单每 4 年一交。在向 EPA 提交清单时 , 实施清单的方法必须同时交给 EPA。

2.2.2 问题的识别

问题识别的目标就是对所列清单的水体识别关键性因素和背景信息 , 描述受损水体的损害的性质及与 TMDL 计划的关系。它在 TMDL 内容组成中起到了导向作用。这部分需要考虑的内容有 :

a. 识别水体功能及其污染物对其功能产生的相关问题 (见表 1)。

表 1 营养物质对水体功能的影响^[1]

水体功能	存在问题
水生生物用水	①由于夜晚大量水生植物的呼吸或者植物体的腐烂导致低溶解氧浓度上升 ; ②低溶解氧或有毒物质导致鱼类死亡 ; ③减少光的渗透。
饮用水的供应	①堵塞过滤网 ; ②味觉和气味问题 ; ③通过蓝绿藻产生有毒物质 ; ④分解絮凝产物和在水处理场用氯处理过程 ; ⑤饮用水中高的硝酸根导致高铁血红蛋白血症。
娱乐和景观用水	①由于脱落物质导致透明度的降低 ; ②脱落物质堵塞钓鱼者的网 ; ③大型植物影响划船、游泳、滑冰等娱乐活动。
工业用水	堵塞过滤屏
农业用水	堵塞溪流渠道 , 通过提高水位减少排水量 , 增加了邻近地区发洪水的风险。

b. 利用有效资料^[1]。①水质测定(营养物质、溶解氧的浓度 , 藻类生物量 , pH 值等) ; ②水体的尺度、形状信息(容积 , 深度 , 面积 , 长度等) ; ③水体的流速和滞留时间 ; ④支流的位置、流量及水质状况 ; ⑤生物学方面的信息(鱼 , 无脊椎动物 , 滨岸植被情况) ; ⑥流域的土地利用及土地利用存在的问题 ; ⑦气温和降雨资料 ; ⑧土壤调查和地质信息 ; ⑨地形方面的信息 ; ⑩人口特征 ; ⑪识别现存的控制管理措施。

c. 识别目前或未来污染物负荷的增长趋势是否被考虑在 TMDL 计划中(如 TMDL 计划应该包括水体处理设备的设计能力)^[1]。

2.2.3 实施 TMDL 计划进程表 确定水质关键管理区

在考虑污染的严重性和水的功能条件下 , 州、领地和部族必须对所列清单的水体按优先顺序进行治疗。排序的依据是 : ①对人类健康和水生生物的威胁性 ; ②公众关心和支持的程度 ; ③特殊水体的娱乐休养、经济及美学上的价值 ; ④作为水生生物栖息地的特殊水体的脆弱性^[2]。

按 EPA 的要求 , 确定水质关键管理区后 , 州将在 8 ~ 10 年内对受污染的水体建立一个净化计划的日程安排表。如果在所规定的时间内达不到水质标准 , 可需另外增加 5 年。同时 EPA 要求对于饮用水源和威胁物种的污染水体应该给予较高的优先开发

权 ,并且对于清单上没有列出的水体 ,州、领地和部族应给予充分的理由加以说明^[1]。

2.2.4 确定水质指标及指标值

这部分的目的就是识别可测量的或可量化的指标 ,并且确定这些指标值 ,以使用来衡量所列清单的水体是否达标。一般来说 ,TMDL 的指标都涉及污染物质的定量指标。然而在一些情况下 ,TMDL 也应对不存在定量化水质指标的污染物开发一些参数 ,当定量指标不存在时 ,受损害的水体就可用叙述性指标或受损水体的用途来描述^[1]。

选择指标的程序是 :首先选择一种或几种适合当地水体和当地条件的指标。例如 ,一个营养物的 TMDL 计划的指标一般包括 TP 质量浓度、TN 质量浓度、叶绿素质量浓度、藻类生物量、大型植物覆盖的百分比等。然后确定这些指标值 ,在确定指标值时要考虑一些关键性因素 ,如有效的技术水平、成本效益、资料的有效性等^[1]。

接下来估算水质指标值的方法有 :

a. 对比参考点 :通过对比参考点确定水指标值 ,一般有两种对比方式。一种是从受污染的水体收集资料 ,然后从相似的没有受污染或受污染程度最小点收集资料作对比 ;另一种是从当前受污染点收集资料和收集这一点在没有受污染以前的资料作对比 ,利用这些参考点的条件可能推算出 TMDL 计划中指标的标准。然而这种方法缺点有可能不能反映真实情况^[1]。

b. 对照现存的分类系统。Vollenweider 和 Kerekes(1980)通过对美国北部湖泊观察、实验、利用模型估算出这样的分类系统 ,这个系统通过利用不同指标把湖泊富营养化程度加以区分 ,例如 P 的质量浓度小于 10 μg/L 被认为是贫营养化湖泊 ;在 10 ~ 20 μg/L 之间被认为是中营养化湖泊 ;大于 20 μg/L 被认为是富营养化湖泊。虽然实际水体的条件与参照系统的条件不尽相同 ,但是选择指标值时 ,可供参考^[1]。

c. 利用参考值和最好职业人员的判断。Welch et al(1988)对美国 and 瑞典的 22 个溪流进行研究 ,总结出每平方米叶绿素 a 生物量的变化范围是 100 ~ 150 mg ,他认为这也许对于水体景观方面的妨碍是个很关键的指标值。在判断水体指标值时 ,判断者的职业对于指标值的准确程度具有重要意义^[1]。

然而以上这些方法并非孤立 ,而可以联合使用。目前美国许多州已对受污染的水体开发了 TMDL 计划。不同水体选择的指标和对应的指标值可参见表 2^[1]。

表 2 与 TMDL 计划评价项目相对应的指标与指标值^[1]

水体名称	指标	指标值浓度
Boulder Creek ,CO	非离子化氨	0.06 mg/L
Appoquinimink River ,DE	溶解氧(月平均)	5.5 mg/L
	溶解氧(瞬间最小值)	4.0 mg/L
Lake Chelan ,WA	TP	4.5 μg/L
Truckee River ,NV	TP	0.05 mg/L
	总的溶解固态物质	210 mg/L
Clark Fork River ,MT	叶绿素(夏季平均)	100 mg/m ²
	TN	300 μg/L
	TP	20 ~ 39 μg/L
Laguna De Santa ,Rosa ,CA	非离子态氨	0.025 mg-N/L
	溶解氧(最小)	7.0 mg/L

2.2.5 评价污染源并估算污染负荷容量^[1]

a. 评价污染源。调查并确认危害水体的污染源类型(点源、非点源、自然背景)、数量、地理位置、对水体的影响程度。

b. 估算实际污染负荷量和最大污染负荷量。估算负荷量所采取的方法一般都是从简单到复杂 ,但通常所选用的方法是稳定状态下的方程与模型相结合 ,模型要简单实用且技术上可行 ,成本合理。例如美国纽约市环保局利用 Vollenweider 方程计算 TP 的最大日负荷总量和当前实际负荷量。Vollenweider 方程是简单的稳定状态的化学通量方程。研究发现 ,流域 TP 的负荷与平均水力停滞的时间的二次方根成反比例 ,所以被美国纽约市环保局最终利用的方程为 :

$$P = Lt_w / H [1 + (t_w)^{/2}] \tag{1}$$

式中 :P 为流域 TP 质量浓度 ,mg/L ;L 为这个流域从所有源来的每日 TP 的负荷量 ,g/m² ;t_w 为流域水力停滞的平均时间 ,d ;H 为贮水处的平均深度 ,m。

此方程已被几个湖泊验证 ,是一个行之有效的计算污染物负荷量的模型。美国纽约市选用的水质指标为 TP ,在指南中规定 TP 的浓度值为 20 μg/L ,然后利用 Vollenweider 方程把指南中 TP 的质量浓度转换成 TP 的负荷量 ,这个负荷量是“ 临界负荷 ”即相当于最大日总负荷量 ;当前的实际负荷量的计算 :美国纽约市利用 Vollenweider 方程将 1990 ~ 1994 年每年 TP 的质量浓度转换成年度负荷量 ,再把年度负荷量求几何平均值即为当前实际负荷量 ;当前实际负荷量与“ 临界负荷 ”之差即为负荷削减量。

2.2.6 污染负荷分配^[1]

污染负荷分配是指在点源和非点源及污染个体之间进行的污染负荷分配。依据的方法为 :

$$TMDL = WLA + LA + BL + MOS \tag{2}$$

式中 :WLA 为允许的现存和未来点源的污染负荷 ;LA 为允许的现存和未来非点源的污染负荷 ;BL 为水体自然背景负荷 ;MOS 为安全临界值 ,指关于污染

物质负荷与受纳水体水质之间关系的不确定数量。

安全临界数值可以通过假设分析提供一个不确定的数量比例关系或者直接从水体污染负荷中除去一定明确数量的污染负荷,所以安全临界数值有确定和不确定关系两种说法,一般是通过假设分析提供这种不确定关系。点源和非点源要达到 TMDL 计划的水质标准值时, MOS 值一般是通过假设分析提供的不确定关系来决定的^[1 2]。

2.2.7 制定污染削减措施

a. 对点源而言。①原有点源增加污染物处理设施,或采用技术改造使其达标排放,并按区域削减目标提出进一步削减的方案、措施。②新增点源应在排污交易市场购得一定的排污权,或采用新技术实现“零”排放。

b. 对非点源而言。①在生活污水方面,应使用少磷或无磷洗涤剂。②在农业排水方面,减少化肥使用量,提高肥料利用率,依靠土地处理系统使排出物肥料化、垃圾肥料化,同时还可以利用景观生态设计减少污染到达受纳水体的数量。③对家畜排水进行处理或土地还原。④在水产养殖过程中,改善饵料中 P 的释放速度,提高营养物的利用率,同时改变投饵方式。⑤用水体中挖出的底泥制砖或作肥料。⑥对于雨水可能产生的污染应及时清扫路面,雨水单独处理,垃圾集中处理,并且日清日干。⑦城市大气污染烟尘控制区内,严格执行烟尘控制规定,以防止大气烟尘经降雨产生二次污染。

实践证明,实施点源与点源、点源与非点源和非点源与非点源之间的排污交易,对于控制点源和非点源污染具有显著的经济效益和环境效益。

2.2.8 执行计划^[9]

执行计划既包括点源、非点源,又包括其他污染源,具体内容包括:①减少污染负荷所采取措施的清单和执行这些措施的时间界限;②为了使污染负荷减少所采取的措施能够提供合理的保证。对于点源而言,由“国家消除污染物排放制度”(NPDES-National Pollution Discharge Elimination System)发放排污许可证而得到保证;对于非点源而言,在每一个 TMDL 中的负荷分配必须通过实施有效的控制管理措施和足够的水质基金作保证,迅速执行非点源污染负荷分配。③对于执行措施的改进而言,监测计划是非常重要的;④水质达标的时间一般在 10 年之内。如果可行,在实施执行计划 5 年后,径流控制计划应付诸实践。

2.2.9 公众参与^[6]

EPA 要求各州、领地和部族向 EPA 提交的 TMDL 计划和水质清单应包括有意义的公众评论结

果,如果没有公众参与的法规是一个不受赞同的 TMDL 计划的依据,EPA 将推迟它对 TMDL 计划的批准,一直到州、部族或 EPA 提供有充分的公众参与为止。

2.2.10 建立管理档案^[6]

州、领地和部族开发 TMDL 计划时应准备一个管理档案,在这个档案里应包括实施 TMDL 所需的资料、科学与技术上的参考书、对公众评论的反映和支撑它的信息资料。这个档案有利于公众和 EPA 对 TMDL 计划进行评论和改进。

3 TMDL 计划的展望及对我国的借鉴

美国已对水体的营养物、沉积物、病原菌等实施了 TMDL 计划,并对点源和非点源污染采取了有效的控制措施,从而极大地改善了受污染水体的质量,保障了受污染的水体能够达到它的指定用途。但是 TMDL 计划在未来发展过程中还要不断改善,具体表现在:

a. TMDL 计划应与其他控制管理措施相结合,有效地控制水体污染的恶化,这是 TMDL 计划未来发展的一大趋势。

b. 从经济学角度,开发 TMDL 计划需要进行成本-效益定量评估及技术与制度上可行性评价,最终选取社会效益最大的执行标准和实施方案。

c. 开发 TMDL 计划必须重视公众参与和评论,只有这样才能保证控制管理措施的有效实施。

d. 对于美国这样的发达国家,除了对受污染的水体制定水质清单和实施 TMDL 计划以外,对于水质好的水体也应实施 TMDL 计划,以确保目前水质安全。

e. 对于 TMDL 计划的执行情况应给予高度的重视和充分的保障。

f. 州政府对于污染水体的净化计划的选择具有巨大的灵活性,可根据当地的实际情况来制定他们自己的计划以确保公民的健康。

我国点源污染控制和管理体系经多年的努力已逐步完善,而非点源污染在我国日趋严重,非点源污染防治还处在探索阶段。我国未来城市和农村水环境的重要问题之一就是如何控制非点源污染,实现水质的根本改善。虽然目前还没有针对非点源污染防治的政策法规,但将非点源污染防治纳入总量控制势在必行。随着 GIS 技术、监测水平的发展,我国已有许多学者从事非点源污染负荷量估算模型的研究。随着水环境管理法规的不断完善、技术和监测水平的不断提高,可确保非点源污染防治纳入总量控制的可行性。因此美国在 TMDL 计划的制定及实

施方面的成功经验 ,值得我国学习和借鉴。

根据我国的国情 ,对受污染的水体开发 TMDL 计划 ,笔者认为应首先考虑以下几个方面 :

a. 我国应分重点来开发 TMDL 计划。我国应先在发达地区 ,监测条件和技术条件好的地区 ,率先开发 TMDL 计划 ,对水体污染比较重的 ,尤其是水源地受非点源污染威胁的水体应尽快开发 TMDL 计划 ,如北京的密云水库 ,云南滇池、洱海 ,巢湖 ,东湖 ,于桥水库等。

b. 我国应分阶段地开发 TMDL 计划。因为我国水体富营养化比较严重 ,加之水土流失较为普遍 ,所以我国应先对沉积物和营养物开发 TMDL 计划 ,另外 ,当监测条件达到一定程度时 ,也要注意对病原菌等的 TMDL 计划开发。

c. 开发 TMDL 计划时注意开发简单、实用、经济的估算负荷量的模型与技术手段。

d. 在总量控制范围内 ,应保证 TMDL 计划与其他控制措施相结合 ,使之成为一体化。

e. 开发 TMDL 计划应包括公众的参与和评论 ,对于像我国这样的人口大国尤为重要。

f. 在开发 TMDL 计划中的执行计划中为控制管理非点源污染提供合理的保证。例如根据实际情况实施流域最佳管理措施(Best Management Practices);控制管理暴雨径流 ,实行雨水和污水分流处理 ,实施点源和非点源之间的排污交易 ,实行营养物管理计划 ,利用土地处理系统、景观设计等措施。经大量实践证明 ,这些措施既经济又有效。

4 结 语

有关非点源污染控制管理的研究方兴未艾 ,在决策方法上 ,国外越来越偏重政策手段的定量化设计与评价 ,从而获取优选方案 ,并在此基础上进行环境-经济效益的综合量化评估 ,最终选取最佳方案 ,以使非点源污染治理的社会总效益达到最大。在政策内容上 ,关注的热点问题是 在总量控制的背景之下合理进行污染负荷分配 ,运用经济手段 ,通过市场途径减少总污染的发生 ,并提出一些具体方案的设计。可见 ,TMDL 计划在控制与管理非点源污染方面具有巨大的生命力 ,在总量控制下 ,对点源和非点源进行负荷分配 ,并且使污染指标值定量化 ,这些方面是值得我国借鉴的。

参考文献 :

[1] U S EPA. Protocol for developing nutrient TMDL[R]. Office of

Water 4503F Washington D C 20460 ,EPA 841-B-99-007 , 1999.

[2] U S EPA. Overview of current total maximum daily load-TMDL-Program and regulations[OL]. [http ://www . epa . gov/owow/tmdl . html](http://www.epa.gov/owow/tmdl.html) 2003.

[3] Committee to review the New York city watershed management strategy water science and technology board. Watershed management for potable water supply[M]. National Academy Press , Washington D C 2000.

[4] U S EPA. Guidelines for reviewing TMDLs under existing regulations issued in 199[S].

[5] U S EPA. Final TMDL rule : fulfilling the goals of the clean water ac[OL]. [http ://www . epa . gov/owow/tmdl . html](http://www.epa.gov/owow/tmdl.html) 2000.

[6] U S EPA. Overview of current TMDL program and regulations [OL]. [http ://www . epa . gov/owow/tmdl . html](http://www.epa.gov/owow/tmdl.html) 2003.

[7] U S EPA. EPA revise water quality listing requirements for April 200[OL]. [http ://www . epa . gov/owow/tmdl . html](http://www.epa.gov/owow/tmdl.html) 2000.

[8] U S EPA. Electronic code of federal regulations[R]. This current As the federal register Dated May 1 2003 40 CFR-CHAP-TER I-PART 130.

[9] U S EPA. Final withdrawal of 2000 TMDL rule takes effect , Existing rules make progress cleaning UP[N]. Environmental News 2003-06-05.

[10] 彭奎 ,朱波 . 试论农业养分的非点源污染与管理[J]. 环境保护 2001(1) :15 ~ 17.

[11] 李宝贵 . 非点源污染控制与管理研究的概况与展望[J]. 农业环境保护 2001 20(3) :190 ~ 191.

(收稿日期 2003-07-21 编辑 高渭文)

(上接第 33 页) 一定空间距离、边界水体具有较大的调蓄作用。

b. 局部水域水系改变(河道拓浚、新开) 愈大 , 模拟边界涵盖的范围应愈大。若局部水域水系改变前后水系结构发生急剧变化 , 则模拟边界的外延范围应足够大 , 才能保证模拟精度。

参考文献 :

[1] 张二骏 . 河网非恒定流的三级联合解法[J]. 华东水利学院学报 ,198[1] :1 ~ 12.

[2] 汪德 . 计算水力学[M]. 南京 河海大学出版社 ,1990.

[3] Nosedo G. Mathematical model of ubsteady flow in open channels network[R]. Proceedings of the international symposium on unsteady flow in open channels ,1976.

[4] 韩龙喜 ,朱党生 . 河网地区水环境规划中的污染源控制方法[J]. 水利学报 2001(10) :28 ~ 31.

(收稿日期 2003-01-07 编辑 高渭文)