

HELIUGONGNENGQU

河流功能区

水污染物容量总量控制的 原理和方法

张玉清 著

中国环境科学出版社

**河流功能区
水污染物容量总量控制的
原 理 和 方 法**

张玉清 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

河流功能区水污染物容量总量控制的原理和方法 / 张玉清著.
—北京: 中国环境科学出版社, 2001.8

ISBN 7-80163-117-X

I. 河… II. 张… III. 河流污染-污染控制-研究 IV. X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 058586 号

出 版 中国环境科学出版社出版发行
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子信箱: cesp@public.east.cn.net

印 刷 北京联华印刷厂

经 销 各地新华书店经售

版 次 2001 年 8 月第一版 2001 年 8 月第一次印刷

印 数 1—2000

开 本 850×1168 1/32

印 张 5

字 数 140 千字

定 价 12.00 元

前 言

自从国家组织“六五”、“七五”、“八五”、“九五”国家科技攻关研究以来，我国在水环境保护和水污染控制的理论与技术研究方面取得了巨大的进展。在“六五”、“七五”、“八五”、“九五”国家科技攻关课题“水环境容量研究”、“以总量控制的地方排放标准制定的方法与原则的研究”等研究成果的基础上，再吸取国外有关研究成果，在国家环境保护总局的支持下，经由中国环境科学研究院牵头进行综合性分析、研究，目前业已形成一套具有中国特色、切合中国国情的水环境保护和水污染控制理论（例如水环境容量和水污染控制的基本概念和理论等），以及与此相应的水污染控制技术和环境管理制度。例如：浓度控制和总量控制技术以及建设项目环境影响评价制度与排污许可证制度，三同时、限期治理、集中控制三项制度，排污收费、综合整治、定量考核和目标管理责任制这八项管理制度等。本书的内容是作者在上述理论、技术、制度和法规的基础上，所研究的一套在河流的混合区和功能区具体实施容量总量控制的原理和方法。因为，容量总量控制，完整的反映了污染源与保护目标这一系统的输入—响应关系。在实施优化控制污染源的种种方法中，可以包含目标总量控制和行业总量控制。

要对一段河道进行精确、有效的总量控制，其关键是建立污染源与环境保护目标控制点（污染带）或控制断面（均匀混合段）之间的定量关系。即建立或选用一个简便、适用、精确和有效的水质模型。这个水质模型，不仅是简便的，还应是能精确建立污染源与环境保护目标之间的输入—响应定量关系，以及能正确而客观地描

述污染物在河流水体中迁移运动规律的水质模型。由河段的水文、水力学条件、排污条件等所决定的污染物迁移转化规律，不仅是河流水域功能区划分的科学依据，同时也是确定和分配容量总量的科学基础。容量总量控制是与水环境容量资源分配、负荷技术经济优化分配相适应的总量控制。是利用水质模型，根据水质目标，反推容许排污量，再将容许排污量优化分配至污染源。为了实施容量总量控制，本书在研究天然河流一般特性和规律的基础上，重点研究了在具体河段划分混合区和功能区的原理和方法；在混合区和功能区确定控制断面或控制点的原理和方法；在控制点（污染带）或控制断面（均匀混合段）确定和分配负荷总量的原理和方法。因为天然河流在水环境保护和水污染控制实践中，可根据污染源分布和排污强度以及水文水力学条件 and 水质标准，划分为各种不同的混合区和功能区。由功能区与混合区组成不同的控制单元、由不同的控制单元构成不同的河段，由各种不同的河段，构成河流和流域。因此，从技术观点看，由点到面，解决了功能区、混合区及河段的总量控制的具体问题，亦即解决了河流和流域的总量控制具体方法和技术问题，这是当前在河流污染容量总量控制实践中急待解决的问题。根据河流功能区容量总量控制的技术要求，作者研究和解决了容量总量控制中一系列重要的理论问题和技术问题，为实施容量总量控制提供了必要的基础。

例如：热污染带水温分布和酸碱污染带 pH 值分布预测和控制计算的理论公式和计算方法。

横向混合系数与水力参数的理论关系式，污染带长度、宽度、面积以及混合区范围和污染带分布总量计算的理论公式与计算方法。完善了水质预测和水污染控制定量计算方法系统。填补了该领域的一系列空白，解决了一系列具体的理论和技术问题，可对国家推行容量总量控制提供有力的技术支持。

本书共分七章，其中第一章对总量控制的基本概念、内容、特点，应用条件，主要基础工作和实施步骤，以及总量控制与国家八

项管理制度的关系进行了综合性论述和介绍。第二章对总量控制的技术关键、污染源与环境保护目标的输入响应定量关系,即污染物在天然水体中的迁移转化基本方程的建立及其解析求解方法与过程进行了论述。第三章重点论述了热污染带水温和酸碱污染带 pH 值的分布预测及控制计算的原理和方法。第四章对总量控制中几个重要相关参数,即横向混合系数,污染带等浓度线的最大长度、最大宽度、面积以及污染带混合区最大长度、宽度、面积和污染带混合区与功能区分布总量计算的原理和方法进行了论证。第五章论述了总量控制定量计算中有关模型参数的确定方法,及模型的验证过程与结论。第六章论证了确定容量总量的原理和方法。第七章论述了分配容量总量的原理和方法。

本书主要面向下列几个方面的读者参考。

(1) 从事水环境管理,水污染控制及有关法规、标准及规划制订机构的领导、管理干部和工程技术人员。

(2) 从事水域功能区划分,排污总量控制,排污收费和环境工程设计等方面具体工作的干部和工程技术人员。

(3) 大专院校有关专业的师生及研究机构有关科研人员。

我国的环境管理和污染控制理论和技术正处在形成和发展的过程中,本书的基本内容是作者近 20 年的研究成果和认识,其中的缺点和错误难免,甚盼读者指正。

能写成此书是得益于国家环保总局和湖南省环保局的支持,20 年来,湖南省环保所完成了国家环保总局一系列重要的具有远见卓识的国家科技攻关研究项目。同时也得益于家人在工作上的支持,使我能集中精力和时间于本项研究工作。

在成书的过程中,还得到我所的领导和同事的鼓励和支持,在此致以衷心的感谢。

目 录

第一章 总量控制概要.....	1
1.1 总量控制的概念、类型、核心和技术关键	1
1.2 总量控制的特点与基本条件	7
1.3 总量控制的主要基础工作和实施步骤	9
1.4 总量控制与国家八项管理制度的关系	18
第二章 污染源与环境保护目标的输入响应定量关系	23
2.1 天然水体中污染物迁移转化过程动力学分析	23
2.2 污染物迁移转化方程的解析解	35
2.3 天然河流一维水质模型的研究与改进	44
2.4 污染物在河流中迁移转化方程的数值解的应用评述.....	50
第三章 热污染水温与酸碱污染 pH 值计算的原理和方法	51
3.1 热污染水温预测及控制计算的原理和方法	51
3.2 河流酸碱污染带 pH 值计算的原理和方法	61
3.3 均匀混合段 pH 值计算	72
第四章 几个重要相关参数的研究与计算	75
4.1 横向混合系数与水力参数的定量关系研究	75
4.2 污染带范围、功能区范围及混合区范围计算的原理 和方法	89

4.3 混合区和功能区范围计算的原理和方法	95
4.4 污染带面积的研究与计算	99
4.5 污染带分布总量计算的原理和方法	103
第五章 模型参数的确定方法及模型检验结论	106
5.1 模型参数的确定方法	106
5.2 水质模型的检验及简化	111
第六章 计算容量总量的原理和方法	117
6.1 技术规定	117
6.2 污染带浓度场分布规律与水污染控制的原理和方法	121
6.3 计算混合区及功能区容量总量的原理和方法	124
6.4 均匀混合段的水质模型和控制总量计算	132
第七章 总量的分配	135
7.1 总量的分配原则	135
7.2 总量的分配方法	137
参考文献	146
主要符号表	148

第一章

总量控制概要

1.1 总量控制的概念、类型、核心和技术关键

1.1.1 总量控制的四个基本量概念

I. 水环境容量

在水环境使用功能不受破坏的条件下，容纳污染物的最大数量，或者在给定水域范围，给定水质标准，给定设计条件下，水域的最大容许纳污量为水环境容量。

水环境容量由稀释容量与自净容量两部分组成，分别反映污染物在环境中迁移转化的物理稀释与自然净化过程的作用。只要有稀释水量，应存在稀释容量；只要有综合衰减系数，就存在自净容量。通常稀释容量大于自净容量，在净污比大于 10~20 倍的水体，可仅计算稀释容量。自净容量中设计流量的作用大于综合衰减系数，利用常规监测资料估算综合衰减系数，相当于加乘安全系数的处理方法，精度能满足管理要求。

II. 容纳水域允许纳污量

根据水环境管理要求，划分水环境保护功能区范围及确定相应水质标准要求，根据给定的排污地点、排放方式与排污数量，把满

足不同设计水量条件，单位时间内保护区所能容纳的最大污染量称为容纳水域容许纳污量。关于单位时间，为防止污染事故，通常规定每秒时间内保护区所能容纳的最大污染量为容纳水域的容许纳污量，并规定进行均匀连续排放较为可靠。

水环境保护功能区范围可以是一块完全均匀混合水体，也可以是一段有污染物衰减作用的河段，也可以是纵向衰减与横向混合作用同时发生的污染带混合区。

水质标准与排污数量对应于同一种污染物，有定常排放和随机排放两种情况，水下排放与漫流排放两种方式。为污染控制可靠和环境管理方便，通常应采取工程措施改随机排放为定常排放。

设计水量条件，可以划分为定常设计流量、流速、水温等条件系列。关于水下排放或漫流排放等排放方式主要以不影响鱼类回游通道和便于定量计算进行选择。

III. 控制区域容许排污量

按照水污染控制目标，或将容纳水域容许纳污量加乘安全系数，或根据控制区域内排污总量的控制要求，选定代表年或削减率，在经过技术、经济可行性论证后确定的污染物排放总量控制目标，称为控制区域容许排污量。

控制区域，通常应与容纳水域保护目标相对应，与设计条件的污染物类型、控制时间相对应。

技术、经济可行性论证的基点是每一个污染源的多种可供选择的总量控制方案。

IV. 排放口总量控制负荷指标

根据污染源位置、排放强度、排放方式、排放污染物种类，以及污染源管理水平，技术与经济承受能力，环境容量利用条件，逐厂、逐排放口分配控制区域内容许排污总量负荷，并经行政决策部门批准的各种排污口容许排污总量，称为排放口总量控制负荷指标。

排放口总量控制负荷指标针对每一具体的排放口给出控制要求，既限定排污水量和浓度，又限定一次瞬时排放水量和浓度的容

许上限，指标值因排放口而异，并具体规定排污去向和方式。

1.1.2 总量控制的三种类型及相互关系

I. 容量总量控制

是自受纳水域容许纳污量出发，制订排放口总量控制负荷指标的总量控制类型。其主要步骤为：

受纳水域容许纳污量 → 控制区域容许排污量总量 → 控制方案技术、经济评价 → 排放口总量控制负荷指标。

II. 目标总量控制

是自控制区域容许排污量控制目标出发，制订排放口总量控制负荷指标的总量控制类型。主要步骤为：

控制区域容许排污量 → 总量控制方案技术、经济评价 → 排放口总量控制负荷指标。

III. 行业总量控制

是自总量控制方案技术、经济评价出发，制定排放口总量控制负荷指标的总量控制类型。主要步骤为：

总量控制方案技术、经济评价 → 排放口总量控制负荷指标。

IV. 三种总量控制类型的相互关系

容量总量控制以水质标准为控制基点，以污染源可控性、环境目标可达性两个方面进行总量控制负荷分配。

目标总量控制以排放限制为控制基点，从污染源可控性研究入手，进行总量控制负荷分配。

行业总量控制则以能源、资源合理利用为控制基点，从最佳生产工艺和实用处理技术两方面进行总量控制负荷分配。容量总量控制完整地反映了污染源与保护目标之间输入—响应关系。在实施优化控制污染源的各种方法中，可以包括目标总量控制和行业总量控制。

本书研究的内容是容量总量控制，其出发点是确定和分配河流

水域功能区及混合区的允许纳污总量。

1.1.3 总量控制的核心

I. 总量控制的核心是负荷分配到源

每一排污口浓度达标乘排水量所得排污总量相加，虽然亦是区域排污总量，但这不是真正意义上的总量控制。

总量控制的真正意义是负荷分配。根据排污地点、数量和方式，对各控制区域不均等分配环境容量资源。根据每一污染源排污总量削减的优先顺序和技术、经济可行性，不均等地分配技术、经济投入。通过在流域范围内不均等地分配环境容量资源，在区域范围内不均等地分配技术、经济投入，实现最小投资条件下的最大总量负荷削减，或在最小投资条件下实现环境目标，并将实施方案和控制措施落实到源，体现为总量控制负荷指标分配到源，而不是单纯的排污量相加。

II. 环境容量资源分配

环境容量资源有偿使用的体现是流域范围内各控制区域的合理布局与负荷分担率。

各控制区域间水质控制断面的位置与标准；上、下游分担削减负荷与治理投资的政策与标准；未来经济开发区的布局与负荷预测和容量分配原则，均需通过环境容量资源分配来解决。

方法是通过建立源与目标的输入响应定量关系，模拟不同输入值的环境响应，比较不同分配方案的优劣。

III. 污染负荷的技术、经济优化分配

总量控制负荷指标可操作性的体现是对区域范围内各主要污染源排污总量削减方案进行取舍及先后顺序决策。

各控制区域内点源优先治理方案；集中控制工程方案；重大无废少废、综合利用、生产工艺改造方案；改变排污去向与排放方式方案；以及加强管理方案，均需按照区域排污总量控制目标进行技术、经济

优化分配，以及实施顺序的时间分配。

方法是通过建立各控制方案的削减量与投资、效益的关系，优化比较不同控制方案组合后的成本效益比值，比较不同分配方案的优劣。

1.1.4 总量控制的技术关键

1. 总量控制的技术关键是污染源与环境目标之间的输入响应定量关系

所谓管理是为实现既定的环境保护目标而实施的环境管理。目标管理的本质可用图 1.1 表示。

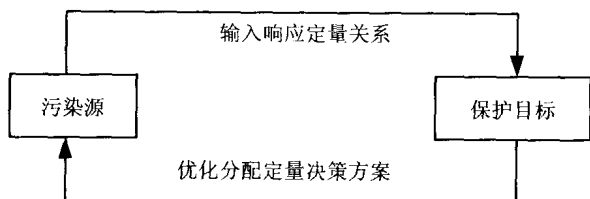


图 1.1 目标管理的本质

图 1.1 揭示了两个研究对象之间的两个定量关系。其中一个研究对象是污染源，另一个研究对象是环境保护目标。

第一个定量关系是污染源排放量与环境保护目标之间的输入响应定量关系，这一关系限定污染源调查的项目及迁移、转化规律必须与保护目标紧密相连，区域、项目、时间均应配套吻合，即建立污染源与环境保护目标之间的定量关系，从而实现不同污染源对环境目标贡献的定量评价。

第二个定量关系是为实现某一环境目标，在限定时间、投资条件下，区域治理费用最小的优化决策方案。此定量关系，对环境目标的可达性、对污染源的可控性都作了技术、经济限定。

因此，目标管理就意味着围绕两个定量关系的建立，一方面对

源和目标进行配套评价，一方面运用迁移转化规律和优化理论在源和目标间搭桥，把认识环境、找出需解决的主要问题和改造环境、提出可行的管理与工程措施统一为整体。显然，这一过程是一个周而复始的闭合过程。

II. 污染源

凡对环境质量可以造成影响的物质与能量输入源，统称污染源。通常分为人工与自然两大类。

(1) 人工污染源又可以分为点、面污染源。点污染源，如流域中的城市区域、工业区域的概化排放口，区域中的主要工业企业、城市污水处理厂、生活污水管道排放口等。

面污染源，如城市径流、农田径流、矿山开采、森林采伐活动形成的与雨水汇流相联系的排污行为。我国乡镇企业与固体废弃物弃置与雨水汇流相联系形成的排污行为，也可作面污染源处理。

(2) 自然污染源，如水土流失，洪、涝灾害，河床冲淤等，与人工污染源共同作用，会加剧环境质量的恶化，通常不属于总量控制对象。

III. 环境目标

凡对目标管理的不同阶段、不同范围提出的定量评价指标，统称环境目标。环境目标按环境质量和污染源排放方式分为两大类：

(1) 环境质量方面：按水环境质量标准、水源保护区禁排要求、综合整治定量考核评分等指标，确定环境目标。

(2) 污染源排放方面：按容许排放总量、排污总量削减率、污水处理率与达标率、水回用率等指标确定环境目标。

IV. 污染源与环境目标的输入响应定量关系

图 1.1 的两个定量关系反映了总量控制中的两步分配。源与目标间的定量关系，反映了环境容量资源分配。控制污染源的优化分配定量关系，反映了负荷技术、经济优化分配。这是典型的容量总量控制过程。

目标总量控制，同样需要这两个定量关系反映不同输入响应方

案的效益比较。即通过源的不同方案输入值，寻求满足环境响应时既不“过保护”，也不“不足保护”。再通过给定的不同环境目标值，寻求效益最佳的污染源控制组合方案，保证方案的可供实施。

行业总量控制研究这两个定量关系，则是先寻求资源与能源的最佳利用率，再寻求实现这一最佳利用率的污染源调控方案。

必须把这两个定量关系都理解为源与目标间输入响应定量关系的组成部分，才能把握总量控制的技术关键，将源与目标间评价与控制两大问题解决好。所谓定量管理，就是实现两个定量评价与控制。

1.2 总量控制的特点与基本条件

1.2.1 总量控制的特点

之所以允许向天然水体排放一定量的污染物，是因为天然水体对该种污染物具有一定的环境容量。排放总量最根本的是要根据河流水体的允许纳污能力来确定。对于各种“总量”分类方法和分配方法，从保护水质观点出发，都是以污染物不超过水环境容量为限度。

目前国内外的水污染控制制度都有一个从浓度控制到总量控制或二者并存双轨制过渡的过程。

水污染总量控制与浓度控制制度相比，具有以下特点：

(1) 浓度控制仅规定排放单位体积或单位质量废水中污染物的量，不论浓度标准值多么严格，只要通过稀释排放都可以达标。因此，浓度控制方法并不能从根本上限制水体污染趋势的增长。总量控制则可以从总体上将水体中的污染物控制在一定限度之内。

(2) 浓度控制方法不能解决新增污染源对水体增加的额外污染负荷，不论这种新增污染源浓度标准规定的有多么严格。总量控制则可以规定整个控制区域或控制单元的污染物排放限额，而不论该区域中，该控制单元是否增加新的污染源。

(3) 浓度控制方法即便是按规定浓度标准进行污染物排放，也不清楚水质状况距离水质目标还有多远。总量控制则可清楚地反映出水体满足特定功能需要的污染物排放量与水质保护目标的因果关系或输入响应定量关系。

(4) 总量控制方法系将整个被保护区域或控制单元作为一个系统加以保护，能够调控系统，使这一水体在满足功能要求的前提下使其对污染物容纳量最大，也可使水体在允许纳污总量的前提下，使其治理投资为最小。

(5) 总量控制方法能做到高保护目标高要求，低保护目标低要求，因地制宜，可以实施总量控制系统内的污染物交易政策。

但是，如果仅仅满足总量控制的要求，而不对污染源的排放做出浓度控制的规定则又可能导致高浓度排放而引起暴发性污染事故或破坏局部水生生态系统。因此，实行总量控制与浓度控制双轨制是比较好的水污染防治制度和措施。

1.2.2 实施总量控制应具备的基本条件

(1) 对实施总量控制区域的污染源有清楚的了解：即掌握工业企业的类型及分布，主要产品及原辅材料生产工艺，取水、用水和排水工艺流程，废水种类及水量、排放污染物量、排放位置、排放方式、排放规律及排放去向，废水处理状况及基建投资状况等情况。并且，有延续较长时期的排放水污染物申报登记经验和资料。这些是对总量进行分配的基础。

(2) 对实施总量控制区域的受纳水体有明确的功能区划：对受控水体的水文特征，支流情况，沿岸污染物排放口分布等有清楚的了解。水体的使用功能不同，水环境容量也不同，因而要确定的允许纳污总量也不同。

(3) 熟悉总量控制类型及总量分配原则，结合本地区和水流的情况，能提出因地制宜的总量控制技术路线。

(4) 具有对污染物总量进行计量的监测手段和方法，便于对总量控制进行操作和监督。

(5) 具有实施总量控制的管理水平，包括一个能对区域总量进行调控的管理机构、管理队伍、规章制度和信息系统。

1.2.3 三种总量控制类型的应用条件与范围

按“总量”确定方法分类，总量控制一般分三种类型：容量总量控制、目标总量控制和行业总量控制。其应用条件和范围如下：

(1) 容量总量控制是从水体的水质目标出发推算出允许纳污总量，再分配到污染源，对污染物加以定量的控制。它适用于确定总量控制的最终目标，也可作为总量控制阶段性目标可达性分析的依据；对于水质差、污染源治理的技术经济条件较强，管理水平较高的控制区域，容量总量控制法可直接作为实现可行的总量控制技术路线加以推行。

(2) 目标总量控制是从污染源出发规定排污削减率，再分配到源，对污染物的排入加以定量化控制。对于排污负荷较大，水质较差，而限于技术经济条件的制约近期内又达不到规定水质功能目标或远期也达不到水质功能目标的水污染控制区域，可以用较简单易行的目标总量控制法确定阶段总量控制量，当然，对于已达到水域功能目标的控制区，为进一步改善水质，也可以用目标总量控制法，继续改善水环境质量。

(3) 行业总量控制是从生产工艺出发，规定资源能源的投入量以及污染物产出量，再将其分配到源，加以定量化控制。考虑到现阶段我国一些生产工艺比较落后，资源和能源利用率偏低，浪费现象较突出的现实，所有实施水污染物总量控制的区域或部门，都应首先从改革生产工艺入手，减少投入和污染物的产出，推广“少废”、“无废”生产工艺，努力提高行业总量控制的水平。