

水质目标管理技术的研究 ——比弗河流域 TMDL 计划执行案例研究

王道涵, 李晓旭, 冯思静, 孟 晔, 何宇姝, 王永刚

(辽宁工程技术大学 环境科学与工程学院, 阜新 123000)

摘 要: TMDL 计划制定与实施的目标是识别具体污染控制单元及其土地利用状况, 根据分级、分区、分类、分期来对单元内点源和非点源污染物的排放浓度和总量提出控制措施, 从而促进整个流域执行最好的流域管理与污染控制计划, 达到水质目标管理要求。本文以美国比弗河流域 TMDL 计划执行案例为研究对象, 简要分析了水质目标管理技术的计划内容、实施情况及效果评估, 并提出了对我国流域水环境管理的启示。

关键词: 最大日负荷总量 (TMDL); 非点源污染; 总磷

中图分类号: X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2014)04-0282-05

Water quality target management technology —A case study of TMDL implementation of Beaver River Basin planning

WANG Dao-han, LI Xiao-xu, FENG Si-jing, MENG Ye, HE Yu-shu, WANG Yong-gang

(College of Environmental Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: The target of TMDL program formulation and implementation was to identify the choice of pollution control unit and its land use status. The control measures would be put forward from the unit point source and non-point source pollutants concentration of emission and its total discharge according to the grade, region, type, and term. This promoting the whole basin executed the best watershed management and pollution control plan to meet the water quality target management requirements. In this paper, taking the TMDL program of Beaver Creek watershed in the US as a case, then the plan content of water quality target management technology, implementation and evaluation would be analyzed briefly, and the revelation of water environment management in China was put forward.

Key words: Total Maximum Daily Loads (TMDL); non-point source pollution; total phosphorus

TMDL (Total Maximum Daily Load, 最大日负荷总量) 是指“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, 包括点源和非点源的污染负荷分配, 同时要考虑安全临界值和季节性变化, 从而采取适当的污染控制措施来保证目标水体达到相应的水质标准” (USEPA, 2007), 其目标是识别具体污染控制单元及其土地利用状况, 对单元内点源和非点源污染物的排放

浓度和总量提出控制措施, 从而引导整个流域执行最好的流域管理计划 (梁博等, 2004)。TMDL 实施包括水质受限水体的识别, 按优先顺序来确定需要优先制定 TMDL 计划的水体, 制定 TMDL 计划, 控制措施的执行, 水质控制措施的评价。

比弗河在迈纳斯维尔水库, Kents Lake, LaBaron Reservoir 和 Puffer Lake 的上游地区, 由于受污染的水体通过渗流和径流等流入到这些

水库和湖泊中,对它们的水体造成污染,导致水体富营养化,使农业灌溉、水产养殖和休闲娱乐等重要使用受到损害,影响到了当地居民的生活(USEPA, 2002),因此,比弗河流域实施 TMDL 计划是迫切和必须的。

1 TMDL 计划框架内容

1.1 水质受限水体识别

水质受限水体是指已经实施水污染控制措施以后,仍不能符合水质目标的水体。EPA 水质规划与管理办法中对水质受限水体的识别做了具体的规定,指出:水体在实施了污染措施后,仍不能满足水质标准时,水体需要实行 TMDL 计划。这里的控制措施包括:《清洁水法》中规定的基于技术的排放限制;联邦、州及当地有关部门规定的比基于技术的排放限制更加严格的排放限制(包括禁止排放);联邦、州和当地有关部门规定的其他污染控制措施(如最佳管理措施 BMPs)(邢乃春等, 2005)。

1.2 按优先顺序来确定需要优先制定 TMDL 计划的水体

水体优先顺序要考虑水体受污染的程度和使用的功能,还有对人们生活健康和对水生生物生活的影响程度等,然后使用具体的排序方法对水体进行优先排序,排序的方法一般由有关部门自己制定。

1.3 制定 TMDL 计划

比弗河流域主要的污染问题是溶解氧过度损耗和富营养化,对流入水体所造成这些问题的污染物进行总量估算,然后执行水体污染预测分析,确定允许的污染负荷量,在确保水体已经达到水质标准的情况下,还需考虑安全临界值的问题。

1.4 控制措施的实施

TMDL 计划制定之后,由有关的部门对污染控制措施进行实施。先要对水质管理计划更新,然后按照 TMDL 计划制定的污染负荷分配目标进行对点源和非点源的分配。

对于点源的排放限制,国家有污染物排放削减体系(NPDES)的排放许可证。

对于非点源,好多国家一般采用的措施,如最佳管理办法(BMPs)。美国环境保护署(USEPA)将 BMPs 定义为“任何能够减少或预防水资源污

染的方法、措施或操作程序,包括工程、非工程措施的操作和维护程序”(代才江等, 2009)。

1.5 效果评估

对实施了 TMDL 计划的目标水体的水质、点源和非点源进行监测,来评估 TMDL 计划对水质改善的有效性。

2 比弗河流域 TMDL 计划

2.1 比弗河流域概况

比弗河流域位于盐湖城的南部大约 160 英里和 50 英里以北的锡达城区域内的盆地地区(图 1)。流域约 320000 亩,约占比弗城的 306000 亩和艾昂县 14000 亩,流域被 Tushar 山脉的东北部和东部, Circleville 山的东南部、Black 山、Mahogany Knoll 和 Jack Henry Knoll 的南部, Mineral 山脉以西, Gillies 山、Woodtic 山和 Wittwer 山的北部所围绕。流域地区的主要经济收入是依靠牛肉和奶制品的制作等农业生产和附近的国家森林和迈纳斯维尔公园提供的旅游业等方面。

2.2 TMDL 计划研究

比弗河流域的主要污染情况为富营养化,其中牧场和草地产生的灌溉回流和水位线以下的放牧已被确定为这是污染物进入比弗河流域的主要来源。

犹他州的水质部门与当地的部门对比弗河流域进行水质监测, CWA 建议将其确定为非点源流域。

2.2.1 受损的水域

在 1998 年的水体受损水域名单 303(d) 列表中比弗河及其他流域的污染物如表 1 所示。

2.2.2 水质标准

比弗河流域 TMDL 计划侧重于恢复水的功效,并达到犹他州的水质标准。根据“美国的水质标准”(犹他州行政法规 R317-2),冷水渔业的溶解氧标准为 $4.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,冷水渔业的水温标准为 20°C ,河流与湖泊的总磷标准分别为 $0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.025 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.2.3 比弗河流域总磷的分析

在比弗河流域设置十个监测站,这十个站点检测出的总磷平均浓度为 $0.046\sim 0.125 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,站点 9 和站点 10(上游)总磷的平均浓度显著比其他 8 个站点偏低,站点 4 到站点 10 的总磷百分率从 100% 下降到 26.5%,样品的百分比超过国家指标范围的 $0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,除了站点 4、9、10,其他所有站点都超过国家标准至少 93.9%。

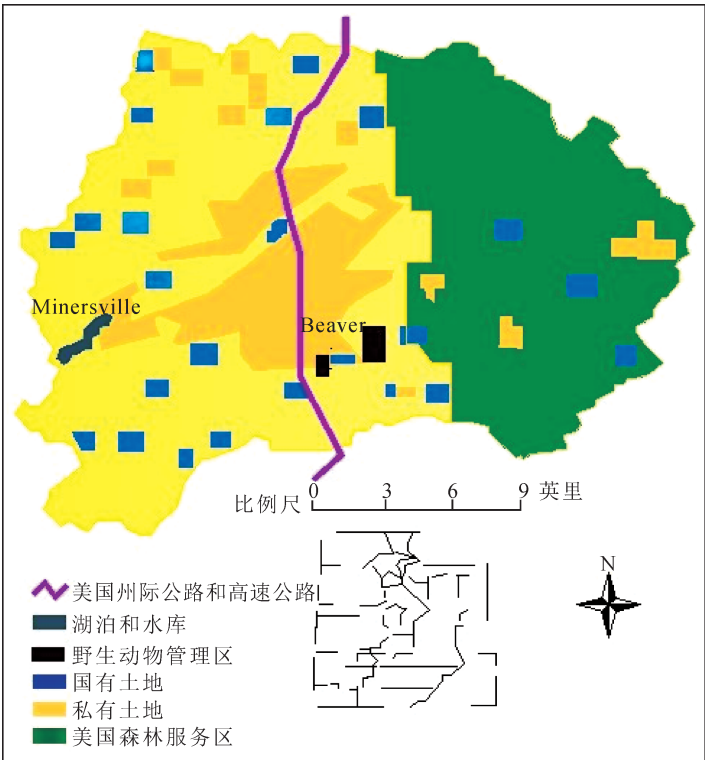


图 1 比弗河流域
Fig.1 Beaver River Watershed

表 1 比弗河流域受损水体
Table 1 Impaired waterbodies of Beaver River Watershed

水体名称	水文单元代码	污染物	受损程度
来自迈纳斯维尔水库上游的比弗河及其支流	16030007	总磷，有毒的水生植物，河岸栖息地的改变	3A*
迈纳斯维尔水库	16030007	总磷、溶氧、温度	3A
Puffer Lake	16030007	溶解氧	3A
LaBaron Reservoir	16030007	溶解氧	3A
Kents Lake	16030007	总磷、溶解氧	3A

*: 鱼和其他水生生物物种，包括必要的水生生物食物链的保护。

农业土地的灌溉，肥料的使用和饲养牲畜的位置，是比弗河流域磷的重要来源。动物的粪便会产生高浓度的磷，饲养的位置越接近流域，磷就越容易进入水中，流域地段的特点不同，磷的移动速度也不一样。

2.2.4 控制措施

比弗河流域指导委员会实施了几项计划来控制磷的流入：1、实现最少 80 个综合营养管理计划；2、水库的水位线以下减少或消除放牧；3、管理草场放牧以减少磷径流潜力；4、改善土地灌溉输水系统；5、恢复和保护河岸走廊使河岸稳定；6、增加植被多样性，提高牧场土壤的稳定性。

2.2.5 TMDL 责任分配

迈纳斯维尔水库清洁湖泊研究是将一部分量

化的总磷输入到迈纳斯维尔水库（1995），提取干净的湖泊数据来研究每年的负荷率，除了有另外的说明（表 2），每年流速如下：长期流量（英亩英尺）= 比弗河（38154）+ 沟渠（2785）+ 径流（779）+ 降水量 + 地下水（858）=43820；研究期间流量（英亩英尺）= 16958。

表 2 是指长期以来，在直接靠近水库放牧区的水已经退去后，磷产量的平均流量将产生 0.026 毫克 / 升的额外数值。

表 3 是根据表 2 中的数据，摘要的年度负荷。负荷的计算如下：负荷（公斤 / 年）= 平均浓度（毫克 / 升）× 若干的英亩英尺 / 年 × 1233 立方米 / 水量 × 1000 升 / 立方米 × 1 千克 / 1000000 毫克。例如 0.14 毫克 / 升 × 38154 水量 / 年 × 1233 立方米 / 水

量×1000 升/立方米×1 千克/100000 毫克=6586 千克/年。

893.1 是一个因素, 可以用来乘以浓度(毫克/升)并乘以流量(立方尺/秒), 得到公斤/年, 其计算方法为: 立方英尺/秒×60 秒/分钟×60 分钟/小时×24 小时/天×365 天/年×28.32 升/立方英尺×1 公斤/1000000 毫克=893.1。例如 0.14 毫克/升×52.7 立方尺/秒(38154 水量)×893.1=6589

千克/年。
根据表 2、3 中的数据进行营养状态分析, 来确定迈纳斯维尔水库的负荷分配。迈纳斯维尔库的年度负荷量取决于流量, 所以, 禁止水库水位线以下放牧则减少流入总磷的浓度。

如果停止水库周围放牧(表 2), 每年磷的流入量都会显著降低, 那么就可允许长期放牧所产生的约 1397 千克/年或大约 60% 的载荷量。

表 2 年度总磷负荷的观测和目标
Table 2 Annual total phosphorus loading observations and goals

比弗河浓度 (毫克/升)、 流量、水量		排水的浓度 (毫克/升)、 流量、水量		地下水浓度 (毫克/升)、 流量、水量		地区径流浓度 (毫克/升)、 流量、水量		沉淀物浓度 (毫克/升)、 流量、水量		目前放牧的 天数	总负荷量	投入的总体 浓度 (毫克/升)
0.14	38154	0.15	2785	0.15	858	0.25	779	0.01	704			长期的
6586		515		159		240		9			7509	0.141
(基于长期的负荷值)												
0.14	38154	0.15	2785	0.15	858	0.25	779	0.01	704	250 180		长期的
6586		515		159		240		9		1397	8906	0.167
(基于靠近水库附近放牧的长期负荷值)												
0.01	12692	0.10	2000	0.15	625	0.25	836	0.01	805			1991—1992
1565		247		116		258		10			2195	0.105
(1991—1992 年研究期间, 不在水库附近放牧的负荷值)												
0.10	12692	0.10	2000	0.15	625	0.25	836	0.01	805	250 180		1991—1992
1565		247		116		258		10		1397	3592	0.172
(1991—1992 年研究期间, 在水库附近放牧的负荷值)												
0.05	38154	0.05	2785	0.04	858	0.15	779	0.01	704			投入目标 0.05
2352		172		42		144		9			2719	0.051
(在水库附近放牧除外的长期流动数据负荷值和水库 TMDL 计划的浓度目标负荷值)												
0.05	38154	0.05	2785	0.04	858	0.15	779	0.01	704	250 180		投入目标
2352		172		42		144		9		1397	4116	0.077
(包括在水库附近放牧的长期流动数据负荷值和水库 TMDL 计划的浓度目标负荷值)												
0.05	38514	0.05	2785	0.04	858	0.15	779	0.01	704	250 180		投入目标
2352		172		42		144		9		1397	4116	0.050
(在水库附近放牧的水库负荷值需要长期整体的负荷目标)												

表 3 迈纳斯维尔水库年度总磷负荷总结
Table 3 Summary of annual total phosphorus loads to Minersville Reservoir

	Beaver R. (千克/年)	水库放牧 (千克/年)	排水 (千克/年)	径流 (千克/年)	沉淀物 (千克/年)	地下水 (千克/年)	总负荷量 (千克/年)
1991—1992 年没有放牧时	1565		247	258	10	116	2195
1991—1992 年有放牧时	1565	1397	247	258	10	116	3592
长期没有放牧	6586		515	240	9	159	7509
长期存在放牧	6586	1397	515	240	9	159	8906
没有放牧的 CRMP	2352		172	144	9	42	2719
存在放牧的 CRMP	2352	1397	172	144	9	42	4116

通过对非点源源头的控制,实施动物饲养区(AFAs)发展优先级选择标准,进一步削减总磷的来源,CRMP建议AFAs制定和实施综合营养管理计划来减少磷的负荷。

综合管理营养计划实施水质最大化优先级,首先控制动物粪便是当前的重点项目。初始分配已经确定为:动物粪便项目60%,水功能改善项目20%,河边与河岸改善项目15%,高地修复项目5%。每个项目设立的具体标准都是根据CRMP对水质进行改善和管理。

3 对我国流域治理的启示

由于我国国土面积广阔,地区差异显著,流域富营养化是在不同区域的不同自然和社会条件下形成的,不仅受到当地气候、水文、地质、地貌、生物等自然条件的影响,还受到区域土地的利用方式、人口、农业现代化水平、城市化和工业化水平等因素的影响,导致了富营养化具有区域分异特点。所以,要控制流域的富营养化,就需要采用我国水环境管理总量分配的方案,实行分级、分区、分类的控制策略。

高效的流域管理是实施水环境管理总量分配计划的关键,目前我国的流域管理体制存在诸多问题,主要表现在四个方面。(1)各相关部门的职能定位不清,流域管理与行政区域管理的职责不清晰。

(2)流域与区域、区域与区域、部门和部门之间缺乏统一的管理机制。(3)缺乏完善的流域管理体系。(4)水资源保护的措施很难落实;流域管理机构缺乏有效的管理手段,依法行政的管理职责难以到位。这些问题严重地影响了流域水资源的有效保护。因此,在流域富营养化问题日益突出的情况下,加强这些方面的研究是非常重要的。

比弗河流域水质治理的过程中,各政府间的协同治理、非点源的氮磷污染限制、广泛的公众参与是水质治理中必不可少的部分。美国为了改善阻碍不同部门和领域间整体合作的现状,在2000年公布了统一联邦政策《联邦土地和资源流域管理方法》,这是在环境保护局、农业部、商务部、国防部、能源部以及内务部之间合作框架内对于流域管理必要性的一种认同(赵永宏等,2010)。为了实现共同合作,必须进行流域信息的共享,地方居民和管理机构提供的信息用于流域决策,通过信息的提供使得公众参与成为可能。公众参与也是TMDL计划顺利实施的一部分,这

是确保长期目标的实现和恢复供水质量的关键。

通过比弗河案例研究可以发现流域管理、公众参与、完善流域法律法规体系、加强法律保障、控制非点源污染等措施在流域富营养化控制中的重要作用(何天龙,2012),这给我国的流域富营养化控制提供了借鉴,也是我国今后控制流域富营养化不可忽视的方面。

参考文献

- 代才江,杨卫东,王君丽,等. 2009. 最佳管理措施(BMPs)在流域农业非点源污染控制中的应用[J]. *农业环境与发展*, 4: 65-67. [Dai C J, Yang W D, Wang J L, et al. 2009. Best management practices (BMPs) in the application of the watershed agricultural non-point source pollution [J]. *Agro-Environment and Development*, 4: 65-67.]
- 何天龙. 2012. 湖泊富营养化控制中的问题及对策研究——以太湖流域为例[D]. 南京: 南京大学. [He T L. 2012. The study on problems and countermeasures in the lake eutrophication control: take the Taihu Lake valley as the example [D]. Nanjing: Nanjing University.]
- 梁博,王晓燕,曹利平. 2004. 最大日负荷总量计划在非点源污染控制管理中的应用[J]. *水资源保护*, 4: 37-41. [Liang B, Wang X Y, Cao L P. 2004. TMDL program in non-point source pollution control and management application [J]. *Water Resources Protection*, 4: 37-41.]
- 邢乃春,陈捍华. 2005. TMDL计划的背景、发展进展及组成框架[J]. *水利科技与经济*, 9: 534-537. [Xing N C, Chen H H. 2005. Introduction to background and development and framework of TMDL [J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 9: 534-537.]
- 赵永宏,邓祥征,战金艳,等. 2010. 我国湖泊富营养化防治与控制策略研究进展[J]. *环境科学与技术*, 3: 92-98. [Zhao Y H, Deng X Z, Zhan J Y, et al. 2010. Progress on preventing and controlling strategies of lake eutrophication in China [J]. *Environmental Science and Technology*, 3: 92-98.]
- USEPA. 2007. Overview of current total maximum daily load-ft-mdl-f program and regulations. <http://PPwww.epa.gov/PowowPtmdlPintro.html>.
- USEPA. 2002. Utah Department of Environmental Quality Division of Water Quality TMDL Section Beaver River Watershed TMDL [EB/OL]. http://water.epa.gov/lawsregs/lawsguidance/cwa/tmdl/upload/2002_07_16_tmdl_examples_disoxygen_ut_beaver_f.pdf.