

基于二维水质模型的饮用水 水源保护区划分

李云贞, 赵希锦, 佟洪金

(四川省环境保护科学研究院, 四川 成都 610041)

摘要: 随着经济社会的快速发展和城市化进程的不断加快, 饮用水水源地周围环境污染问题也日趋严重。生活饮用水安全是影响人民生命健康和社会经济可持续发展的重要因素, 需要引起高度重视。通过分析河流水系特点、水力特性及河流功能, 调查区域污染状况, 得到基础数据, 应用二维水质模型计算结果作为依据, 划定了四川某水厂大渡河饮用水水源地保护区范围, 划分结果合理可行, 为其他地区饮用水水源地保护区的划分提供参考。

关键词: 饮用水; 环境污染; 水源地保护区; 二维水质模型

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2013)01-0181-04

Partition of drink water protected zone based on two dimension water quality model

LI Yunzhen, ZHAO Xijin, TONG Hongjin

(Sichuan Academy of Environmental Sciences Sichuan, Chengdu 610041, China)

Abstract: Recently, the problem of environment pollution of drink water is becoming more and more serious with the development of economy of China. The safety of drinking water is the important factor concerning the health of our citizen and the economic development in our country. Based on the investigation of the pollution in the research zone, and analysis of river characteristics, hydraulic characteristics and function of river, this paper carried out the range of drink water protected zone with two dimension water quality model, which can be the reference of the other area.

Key words: drink water; environment pollution; range of drink water protected zone; two dimension water quality model

0 前言

饮用水水质与人体健康密切相关, 饮用水源地的环境保护与管理受到世界各国的广泛关注^[1]。近年来, 由于我国工业化进程的加快, 国内很多饮用水源地周围环境遭到污染, 严重影响人民群众的身体健康并造成很多城市因水源污染造成的水质型缺水^[2], 因此迫切需要制定我国城市饮用水源地环境保护规划, 系统实施从污染源控制到水质保护的控措施, 构建新型的安全饮用水源地保障体系确保饮用水源地时刻安全, 而划定饮用水源保护区则是一种行之有效的保护措施^[3]。

饮用水源保护区划分原则是面积一方面要够大, 至少满足保护水质的要求, 另一方面要尽量小, 以便减少水源保护区对当地生产带来的消极影响,

因此饮用水源保护区合理划分问题是一项集自然因素, 社会经济因素和技术因素于一体的复杂工作^[4]。

饮用水源保护区可按水体特征分为地表水源保护区和地下水源保护区, 划分方法有所不同。现有国内外饮用水水源保护区划分方法多采用经验法、解析法, 人为影响因素较大。本文在充分调查了大渡河河流两岸相关农村生活污染、分散式畜禽养殖污染、农田径流污染和工业污染的基础上, 对河流环境质量现状进行了评价, 根据河流水系特点、水力特性及河流功能的需要, 利用直角坐标系推流二维浓度场模拟了河道 COD 浓度、氨氮浓度沿程分布图和污染带分布图, 分析了河道 COD 和氨氮浓度影响范围, 计算确定河流水源保护区各级保护区的最大纵向扩散长度, 并依此划定了地表水饮用水源保护区

收稿日期: 2012-11-26; 修回日期: 2012-12-06

基金项目: 四川省环保科技研究项目(2010HBY002)

作者简介: 李云贞(1979-), 男, 河北衡水人, 工程师, 主要从事地下水环境效应及控制研究。

范围,划分结果合理可行,可以做为地表水水源地饮用水保护区划分的依据,为其他地区饮用水水源地保护区的划分提供参考。

1 二维水质模型

应用二维水质模型计算得到保护区水域长度范围,要求对于河流型水源地,一级保护区水域长度范围内应满足 GB 3838-2002 II 类水质标准的要求。二级保护区上游侧边界到一级保护区上游边界的距离应大于污染物从 GB3838-2002 III 类水质标准浓度水平衰减到 GB3838-2002 II 类水质标准浓度所需的距离。

二维水质模型基本方程:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - u_x \frac{\partial C}{\partial x} - u_y \frac{\partial C}{\partial y} - KC \quad (1)$$

在稳态条件下, $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$, 上式可变形为:

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - u_x \frac{\partial C}{\partial x} - u_y \frac{\partial C}{\partial y} - KC = 0 \quad (2)$$

在有边界的情况下,污染物的扩散会受到边界的阻碍而产生反射,这种反射可以通过设立虚源来模拟,即假设边界为一面镜子,镜子后面有一个与实际源强度相同,距离相同的虚拟反射源。当有两个边界时,反射会成为连锁式的。

当强度为 M 的点源排放到有边界阻碍,宽度为 B 的河道中,点源位于距岸 y_0 ($0 \leq y_0 \leq B$) 的位置,其解析解可以表达为:

$$C(x, y) = \exp\left(-K \frac{x}{86400u}\right) \cdot \left\{ C_h + \frac{C_p \cdot Q_p}{H \sqrt{\pi \cdot M_y \cdot X \cdot u}} \left[\exp\left(-\frac{u \cdot y^2}{4M_y \cdot x}\right) + \exp\left(-\frac{u(2B-y)^2}{4M_y \cdot x}\right) \right] \right\} \quad (3)$$

式中: $C(x, y)$ 为 (x, y) 点污染物垂向平均浓度, mg/L; C_h 为河流上游污染物背景浓度, mg/L; K 为综合降解系数; C_p 为废水排放浓度, mg/L; Q_p 为废水排放量, m^3/s ; H 为断面平均水深, m; X 为距排污口的距离, m; u 为河段平均流速, m/s; B 为河流宽度, m; y 为污染带内计算点至排污口一岸的距离, m; M_y 为横向扩散系数, m^2/s 。采用泰勒公式计算获取, $M_y = (0.058H + 0.0065B) \sqrt{H \cdot I \cdot g}$; I 为河流底坡; g 为重力加速度。

2 二维水质模型在饮用水保护区划分中的应用

2.1 工程概况

为了保证城市供水安全,满足城市发展日益增长的生产和生活供水需要,四川某水厂投资扩能至 20 万 t/d 规模,取水口设置在大渡河某水电站大坝的库容区内,在水电站拦河大坝上游约 500 m,距离左岸约 30 m 处,取水水体为电站库区水体。

2.2 二维水质模型边界条件选取

2.2.1 水文参数 水电站坝址处 90% 保证率流量 1 341 m^3/s , 平均宽度约为 600 m, 流速 2.46 m/s, 水深 20.5 m, 河流底坡为 0.13%, 多年平均径流量 469.9 亿 m^3 , 多年平均径流深 615 mm。水电站建成后,日调节所需要的库容较小,水库发电消落水位较小,可基本维持在正常蓄水位 398 m, 水位尽可能不消落。

2.2.2 上游来水浓度 污染源调查结果表明,水源地所在河段主要污染物为化学需氧量(COD)和氨氮(NH_3-N),因此计算因子选取 COD、 NH_3-N 。从保守角度考虑,本次计算选取上游雅安市三谷庄监测断面 2011 年全年 COD、氨氮监测数值作为背景浓度,即 COD、 NH_3-N 分别为 4.5、0.23 mg/L。

2.2.3 降解系数选取 《全国水环境容量核定技术指南》国家推荐的 COD、 NH_3-N 降解系数分别为 0.2~0.25 d^{-1} 、0.1~0.167 d^{-1} 。国内外河流已有研究成果还表明降解系数有如下规律:水体温度高,降解系数大。且二者之间定量关系已经有较为可靠的研究成果,不同水温条件下 K 值估算关系式如下:

$$K_T = K_{20} \cdot 1.047^{(T-20)} \quad (4)$$

式中: K_T 为 $T^\circ C$ 时的 K 值, d^{-1} ; T 为水温, $^\circ C$; K_{20} 为 $20^\circ C$ 时的 K 值, d^{-1} 。

因此采用保守值计算,本项目降解系数 COD 取 0.2 d^{-1} , 氨氮取 0.1 d^{-1} 。

2.2.4 源强概化 调查河段点源主要为分散的城镇生活和工业点源,各污染源距水电站坝址距离及源强具体见表 1。

由于各源排放量较小,为便于计算,根据其与水电站的位置关系、排放量,为了便于计算,将排污口概化到一个点进行计算,概化点的重心计算如下: $X = (Q_1 C_1 X_1 + Q_2 C_2 X_2 + \dots + Q_n C_n X_n) / (Q_1 C_1 + Q_2 C_2 + \dots + Q_n C_n)$ (5)

式中: X 为概化的排污口到功能区划下断面或控制

断面的距离; Q_n 为第 n 个排污口(支流口) 的水量; X_n 为第 n 个排污口(支流口) 到功能区划下断面的距离; C_n 为第 n 个排污口(支流口) 的污染物浓度。

计算结果表明,概化后 COD 源排放点距水电站大坝坝址 $X_{COD} = 8.9$ km;氨氮源排放点距水电站大坝坝址 $X_{氨氮} = 8.9$ km。COD、NH₃-N 概化源强分别为 83.05、9.89 g/s。

2.3 计算结果分析

二维模型计算结果显示,由于水体稀释降解作

用,距离概化源强 330 m 的地方,河道 COD 浓度降到 5 mg/L 以下;距离概化源强 2 400 m 的地方,河道氨氮浓度降到 0.4 mg/L 以下。由此表明,模拟河道 COD 浓度不会超过地表水 II 类水质标准(COD 浓度 ≤ 15 mg/L,氨氮浓度 ≤ 0.5 mg/L),计算结果详见表 2。

直角坐标系推流二维浓度场模拟模拟河道 COD 浓度、氨氮浓度沿程分布图和污染带分布图详见图 1~4。

表 1 四川某水厂饮用水水源地保护区沿岸排污点源情况表

km, 万人, m, t, g/s

名称	距取水口 距离	城镇 人口	排放位置	平水期河 道宽度	水量	化学需氧量 排放源强	氨氮排 放源强
市区镇 1	0.1	1.30	左岸	600	5702139	9.80	1.21
市区镇 2	0.5	2.50	右岸	600	1140625	20.50	2.52
市区镇 3	6.8	1.95	左岸	600	889688	16.02	1.962
某纸业有限责任公司	12.7		右岸	600	23.60	1.12	0.07
某钢铁集团有限公司	14.1		右岸	600	389.05	1.47	0
市区镇 4	16.3	5.30	右岸	600	2418125	43.55	5.34

表 2 四川某水厂饮用水水源地保护区二维水质模型预测成果表

m, m²

名称	位置	COD 污染 带宽度	COD 污染 带长度	COD 污染 带面积	氨氮污染 带宽度	氨氮污染 带长度	氨氮污染 带面积
概化源强排污口	8900	187	2875	105332	101	1276	90978

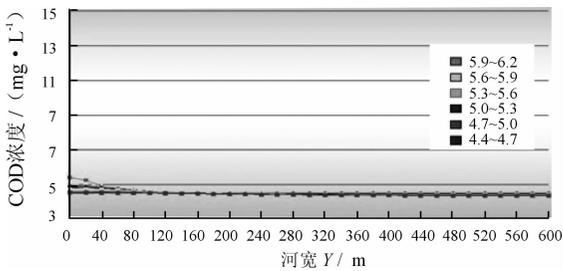


图 1 直角坐标系推流二维浓度场模拟河道 COD 浓度沿程分布图

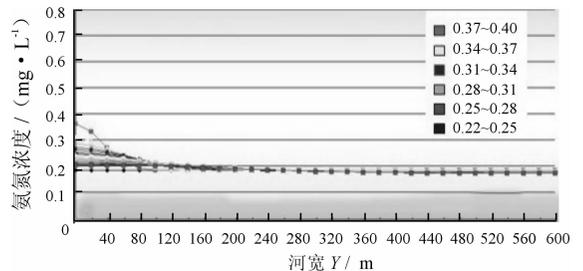


图 3 直角坐标系推流二维浓度场模拟河道氨氮浓度沿程分布图

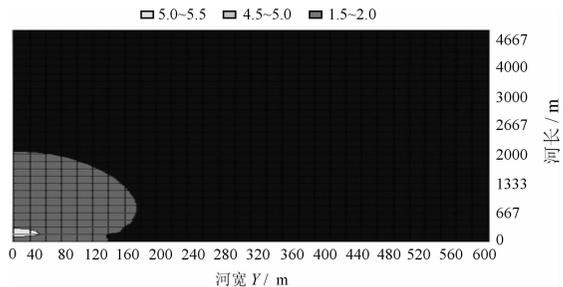


图 2 直角坐标系推流二维浓度场模拟河道 COD 浓度与背景值比较污染带分布图

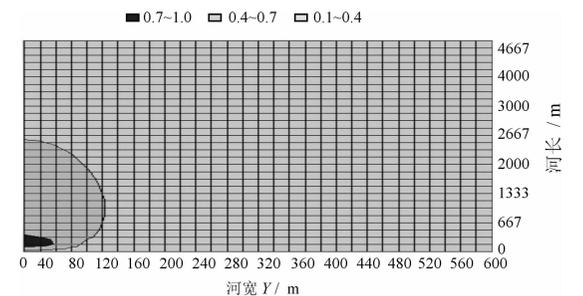


图 4 直角坐标系推流二维浓度场模拟河道氨氮浓度与背景值比较污染带分布图

2.4 保护区范围确定

根据以上直角坐标系推流二维浓度场模拟计算

结果,划定该水厂大渡河饮用水水源地保护区范围如下:

(1)一级保护区。根据取水点上下游断面监测数据,结合二维水质模拟结果可以看出水源地水质较好,能够达到地表水Ⅱ类水质类别要求。考虑水源地一级保护区保证饮用水卫生的要求,划分一级保护区为大渡河水域河长为2 400 m,由取水口下游500 m至上游1 900 m,水域宽度为库区中泓线到左岸库区正常水位线淹没范围,水面宽约300 m;一级保护区陆域为水域边界向左岸陆域纵深延伸50 m,右边界为库区正常水位线向右岸陆域纵深延伸50 m,一级保护区面积为0.95 km²。

(2)二级保护区。根据《饮用水水源保护区划分技术规范》二级保护区上游侧边界到一级保护区上游边界的距离应大于污染物从GB3838-2002Ⅲ类水质标准浓度水平衰减到GB3838-2002Ⅱ类水质标准浓度所需的距离。因此,在假定上游来水为Ⅲ类水质,无污染源条件下,在水源地所在江段对Ⅲ类降到Ⅱ类进行测算。考虑水源地上游来水水质较好,结合《四川省饮用水保护管理条例》、《饮用水水源保护区划分技术规范》推荐经验值法,划分二级保护区水域长度。二级保护区为大渡河水域河长为4 400 m,上边界为取水口上游3 900 m,下边界在取水口下游500 m处,水域宽度为库区正常水位线淹没区域,扣除一级保护区水域范围。二级保护区陆域左岸边界为左岸河网右岸与库区正常水位线向右岸陆域纵深延伸1 000 m,遇到公路、堤防、渠道的以公路、堤防、渠道为界,除去一级保护区陆域范围。二级保护区面积为6.52 km²。

(3)准保护区。为体现保护与发展兼顾的思想,按照《饮用水水源保护区划分技术规范》的要求,根据区域实际情况,参照二级保护区划分方法。准保护区为大渡河水域河长为8 000 m,上边界为取水口上游7 500 m,下边界在取水口下游500 m处,除二级保护区之外的水域范围,准保护区水域宽度为库区正常水位线所能淹没的区域;陆域保护区长度与准保护区水域长度一致,宽度左边界为左岸河网的右岸,右边界为水库正常水位线沿岸纵深至山脊线范围内的陆域,范围内有公路、堤防、渠道的地方,以公路、堤防、渠道为界,除二级保护区陆域外的范围。准保护区面积为11.68 km²。准保护区的水质基本项目限值不得低于《地面水环境质量标准》(GB3838-2002)Ⅲ类标准。

3 结 语

饮用水水源与人类的生存息息相关,随着生活水平的提高,人们对饮用水质量提出了更高的要求^[5-6]。随着经济的快速发展,我国水环境污染问题日益严重,城市供水安全受到严重威胁,迫切需要尽快采取有力的污染防治措施,为我国城市的饮用水安全提供保证^[7]。饮用水源地的保护是一项系统工程,既涉及上下游、左右岸的保护,也涉及污染源的控制^[8]、饮用水源地的执法、排污口整治,还与区域工业布局、产业结构等有密切关系,需要建立统一、协调、高效的饮用水源地保护机制。本文在充分调查了大渡河两岸相关污染源的基础上,对河流水环境质量现状进行了评价,利用直角坐标系推流二维浓度场模拟了河道COD浓度、氨氮浓度沿程分布图和污染带分布图,计算确定河流水源地各级保护区的最大纵向扩散长度,划定了地表水饮用水源保护区一级保护区面积为0.95 km²,二级保护区面积为6.52 km²,准保护区面积为11.68 km²,可以为该水源地饮用水保护区划分的依据,为其他地区饮用水源地保护区的划分提供参考。

参考文献:

- [1] World Health Organization. Guidelines for drinking - water quality[S]. (third edition). Geneva, 2004.
- [2] 国家环保局, 卫生部, 建设部等. 饮用水水源保护区污染防治管理规定, 水污染防治管理手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991.
- [3] 赵华林. 加强饮用水水源环境保护[J]. 环境保护, 2007(1B): 19-21.
- [4] 尹真真. 岸边污染带计算在饮用水源保护区划分中的应用[J]. 环境研究与监测, 2004, 17(3): 6-7.
- [5] 翟浩辉. 把握重点, 统筹规划, 保障城市饮用水水源地安全[J]. 南水北调与水利科技, 2006, 4(5): 1-3.
- [6] 朱党生, 等. 中国城市饮用水安全保障方略[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 15-69.
- [7] United States Environmental Protection Agency. The drinking waterstandards and health advisories[S]. 2006.
- [8] Smith LFW Schw artz. Mass transport I, a stochastic analysis of macroscopic dispersion [J]. Water Resource Research, 2003, 16(2): 303-313.