

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.04.016

非潮汐河流型饮用水水源保护区经验值划分法及实例应用

易 雯¹,付 青²,郑丙辉²,陈小文³,吕小明¹,李 彤¹,刘 军¹

(1.广东省环境监测中心,广东 广州 510045 ;2.中国环境科学研究院,北京 100012 ;3.广东省西江流域管理局,广东 珠海 519090)

摘要 :为提高河流型水源保护区经验法划分的针对性、科学性和可操作性,借鉴国外饮用水水源保护区划分的相关理念,在充分考虑我国南方非潮汐河段河流型水源地类型、主要污染源、水文水动力特征、管理监督等因素的基础上,提出了基于预警的非潮汐河段河流型饮用水水源保护区的经验值划分方法,并以此划分了广东省 M 市的饮用水水源保护区。跟踪验证监测显示,划分范围基本合理。

关键词 :饮用水水源保护区 ;河流型饮用水水源 ;划分技术 ;经验值法

中图分类号 :X321 文献标识码 :A 文章编号 :1004-6933(2011)04-0062-05

An empirical method for delineating riverine source water protection areas and its application

YI Wen¹,FU Qing²,ZHENG Bing-hui²,CHEN Xiao-wen³,LV Xiao-ming¹,LI Tong¹,LIU Jun¹

(1. Guangdong Provincial Environmental Monitoring Center, Guangzhou 510045, China ;2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China ;3. Guangdong Provincial Bureau of Xijiang River Basin Administration, Zhuhai 519090, China)

Abstract : Based on the early-warning concept, an empirical method for delineating non-tidal riverine source water protection areas was proposed with a comprehensive reference to the foreign experience and the actual situations of China, including the type of water source of southern non-tidal rivers, major pollutants, hydrodynamic characteristics, and environmental management, so as to improve the operability of regular traditional empirical methods. The proposed method was applied to the M city of Guangdong Province. The monitoring data show that the delineated area is reasonable.

Key words : source water protection areas ; riverine drinking water source ; delineation technique ; empirical methods

饮用水水源保护区既是一个区域地理概念,又是一个法律概念^[1]。划分饮用水水源保护区的目的,在于采取预防性措施保护饮用水源免受污染,确保公众健康。在我国当前经济高速发展、土地供应紧张的现状下,科学合理划定饮用水水源保护区,解决饮用水水源地环境保护与经济矛盾的矛盾是一个值得深入探讨的问题。

1 河流型水源保护区划分研究进展

发达国家一般都有较完备的水源地保护法律体系^[2],相应的具备了较成熟的饮用水水源保护区划分技术。欧美许多国家在水源保护区划分技术方面积累了大量经验,其中德国有 100 多年的水源保护区建设史,保护区划分具有国际领先水平^[3]。德国可能将取水口所在流域区全区划定为水源保护区,

作者简介 :易雯(1963—),女,湖南怀化人,高级工程师,主要从事饮用水水源水质安全管理技术研究。E-mail :yiwenn008@163.com

水源保护区至少要包括流域区内取水口上游区,水源保护区内部分级划出 2 到 3 个分区,分级保护^[3];美国 EPA 规定,地表水水源保护区(SWPA)必须包括公共供水系统取水口的整个上游流域直到州边界,划分方法主要有地形边界划分法、阶梯式后退(又叫缓冲地带法)和迁移时间计算法^[4-6],俄罗斯依据水源类型及其天然防护能力及受生物与化学污染的可能性大小划分为三级保护区,并采用模型计算和经验类比相结合的方法确定保护区范围^[7]。国外河流型饮用水水源保护区划分的一个共同点都是基于更为整体性、全流域的管理模式,分区分级划分水源保护区。

我国饮用水水源保护区工作划定始于 1984 年,但当时划定保护区的水源地数量很少,划定方法也不规范^[18]。2007 年之后,原国家环保总局颁布实施的 HJ/T 338—2007《饮用水水源保护区划分技术规范》,逐步规范了我国饮用水水源保护区划分工作。该技术规范要求,根据取水区域所在的水体特征、距离取水口远近和水质保护目标的需要,划分为 2~3 个区,即:一级保护区、二级保护区和准保护区,划定技术方法有经验值法和数值模型法^[9]。

2 河流型饮用水水源保护区经验值划分技术

我国河流众多,长度在 1 000 km 以上的河流有 20 多条,流域面积超过 1 000 km² 的河流有 1 500 多条。2007 年全国城镇饮用水水源地基础环境调查显示,我国河流型水源地 1 243 个,占水源地总数的 31.1%,从区域分布看,河流型水源主要分布在南方地区。因此,研究南方地区河流型水源保护区划分方法对我国河流型水源保护区划分工作具有指导意义。

2.1 河流型水源分类

河流水源类型以潮汐影响因素可分为不受潮汐影响的非潮汐河段水源和潮汐河段水源;以流速和水力坡降因素分为山区河流水源和平原河流水源;另有一种特殊类型,即闸坝型水源,是用拦河闸(坝)截断河流,抬高水位形成的河流型水源,包括河口闸坝型和低水头拦河闸坝型水源两种。

2.2 河流型水源特征

不同类型的河流型水源,水文特征有明显不同,当排放条件一定时体现在空间和时间上较明显的水质差异。

2.2.1 山区河流和平原河流水源

山区河流通常位于流域的上游和中游,河谷狭窄,横断面多呈 V 或 U 形,两岸山嘴突出,岸线犬牙交错很不规则,流量大,河道纵向坡度大,水流急,污染降解快,因此,山区河流型水源地的区位条件和水

质条件均较好,季节、水期变化对水质的影响不显著。

平原河流在松散的冲积层上,横断面宽浅,纵向坡度小,河床上浅滩深槽交替,河道蜿蜒曲折,多曲流与汉河,污染扩散较缓,因此,平原河流型水源地区位条件和水质条件均相对较差,不同水期水质差异性大,主要污染源为点源时,丰水期好于枯水期,主要污染源为非点源时,枯水期水质好于丰水期。

2.2.2 潮汐和非潮汐河段水源

潮汐河段水源,是指受潮汐影响水流出现双向流动及(或)水位产生周期性波动的河流型水源,即河口—潮区界之间的河段,潮汐河段同时也具备了平原河流的一般特征。非潮汐河段水源,指不受潮汐影响的河流型水源,包含了山区河流水源和部分不受潮汐影响的平原河流水源。因此,受区位条件、潮汐等因素影响,潮汐河段型水源与非潮汐河段型水源水质具有较明显的差异,表现为非潮汐河段型水源水质好于潮汐河段型水源水质。

2.2.3 闸坝河流型水源

闸坝河流型水源由于是受兴利调度控制而形成新的水文过程。河口闸坝型水源通常枯水期蓄水,抵御咸潮,具有水库的一般特征,丰水期开闸,即又具有潮汐河段水源特征,低水头拦河闸坝型水源,通常都有蓄水、发电等功能,年内调度一般分为泄水变动期、低水位运行期、蓄水变动期、高水位运行期。经调控后,枯水期水位较高、丰水期水位较低,呈反季节变化,蓄水变动期、高水位运行期,具有水库的一般特征,水动力条件较差。

2.3 经验值划分法

一般而言,划分水源保护区有数值模型法和经验值法两种。数值模型法是借助数学模型,利用实测数据,计算出水源保护区理论范围。经验值法是一种从多年实践中总结出来以实用分区界宽为参数的划分方法^[1],以水源水质作为保护区划定正确性的判断标准。由于数值模型法技术上要求较高,既需要较详尽的水文资料,又需要具备一定的数值模拟计算专业人才,故经验值法在实际应用中非常普遍。本研究提出的经验值法借鉴美国迁移时间法(TOT 法)的应急和预警理念,即基于污染物传递时间,以污染物与河流相同的流速计算从上游的监测点到下游取水口的迁移时间(TOT),该时间为管理者提供了污染事件的反应时间,以便管理者对污染事件做出正确的反应并采取有效对策^[6]的预警概念,针对非潮汐河段水源特征,在 HJ/T 338—2007《饮用水水源保护区划分技术规范》基础上,提出基于预警的非潮汐河段河流型水源保护区的划分方法。

2.3.3.1 划分考虑因素

河流型水源水质的影响因素众多 ,包括水源所在的地理位置、水文、气象、集水汇流特征、地质特征、土地利用、水动力特性、水域污染特征、污染源分布、排水区分布、水源地规模、水量需求等。经验值法既要 从时空尺度考虑水源水质 ,又要遵循科学性、代表性、针对性、可度量性、易获取性等原则 ,综合考虑水源类型与区位特征、污染状况、环境监管、环境风险等对水源水质有高度关联影响的因素：

- a. 识别不同类型的河流水源 ,尤其是区分山区河流与平原河流和特殊类型的闸坝河流水源 ,以提高保护区划分的针对性和科学性。对山区河流 ,因水力坡降大、水流急 ,从保护和应急角度考虑 ,水域长度应长些 ,对闸坝河流水源要考虑其特殊性。
- b. 依据对水源水质和水源地周边污染源结构、分布、排放量等的分析 ,判断水源地的污染状况、主要污染类型和较不利水文条件 ,提高经验值法的代表性。
- c. 依据水源环境管理制度的建立和完善程度 ,以及突发事件的应急能力等因素 ,判断环境监管水平 ,作为保护区划分的重要考虑因素之一。
- d. 识别各种环境风险 ,分析水质恶化的驱动力 ,充分考虑潜在风险带来的环境压力 ,做好防范预警。具体划分见表 1 所示。

2.3.3.2 参数值的确定

2.3.3.2.1 河段平均流速

影响河流污染物扩散输移的水文参数很多 ,如：流速、流量、扩散系数、水力坡降等 ,但大多难以获取。为使山区河流与平原河流的界定简单化 ,从易获取性出发 ,选择影响河流污染物扩散输移的重要水文参数河段平均流速作为划分指标 ,提高方法的可操作性。广东省多年水文资料显示 ,丰水期大江大河上游河段平均流速为 1.5 ~ 3 m/s ,枯水期为 0.8 ~ 1.5 m/s。本研究选择此范围的河段平均流速作为不同水期、不同污染类型非潮汐河段河流型水源保护区的划分指标之一。

表 1 河流型饮用水水源保护区划分关联要素

主要因素	关联要素	表征指标	指标作用
水源类型与 区位特征	水源类型	河段多年平均流速、水利工程	识别水源类型
	区位特征	地理位置、土地利用	根据水源所处流域位置 ,土地利用等 ,评估水源环境条件
污染状况	水环境质量	各水期水质类别	分析不同时段水源水质状况 ,诊断主要污染源、主要污染类型 ,判断水质最不利水期和 水文参数
	污染源	污染源分布、污染源结构、 污染物排放量	
环境监管	水源环境管理	水源周边是否存在排污口 ,水源水质管理制度完善度 ,上游新建项目控制、水源保护工程措施	评估水源环境监管水平 ,判断是否存在较大的管理漏洞和 风险 ,或管理制度是否健全完善 ,保护工程措施到位等 ,是保护区划分考虑的重要因素之一
	应急能力	应急体系健全度	
环境风险	污染源风险	水源上游有无跨河桥梁、有无沿河公路	识别环境风险 ,做好预警防范
	水质风险	水源水质变化趋势	

2.3.3.2.2 水域长度

水源保护区的一个重要功能是在出现污染饮用水源的突发情况下 ,保证有足够的采取紧急措施的时间和缓冲地带。水域长度是经验值法中要确定的最重要参数。根据一般的应急经验 ,通常在第一时间发现污染事故(假设上游污染企业均有在线监测设备) 到立即进行水量储备、应急水源启动、社会用水安排等紧急措施的最快响应时间大约为 2 h。据此 ,采用一维水质模型 ,模拟在较不利情景下 ,事故污染物迁移传输的距离 ,同时叠加考虑现状水源保护管理状况 ,如保护区上游严控新建项目 ,严控污染排放 ,加固防护河堤 ,加强应急防渗沟建设等 ,而确定保护水域河长。此外 ,由于广东经济发展水平较高 ,工业布局较密集 ,环境压力大 ,从水质目标管理考虑 ,广东水源保护区水域河长应严格于 HJ/T 338—2007《饮用水水源保护区划分技术规范》类比经验法划定的保护区长度范围 ,以强化污染风险防范。

2.3.3.2.3 陆域范围

对河流水源保护区陆域范围的划分 ,结合了水源地的各种环境条件 ,充分考虑了天然和人工隔离设施对回水、径流和洪水有阻挡和改变水流方向的作用 ,因地制宜 ,适度划分 ,避免过度保护。

2.3.3.3 划分方法

2.3.3.3.1 水域

- a. 水域长度。水域河长划分见表 2 ,表 3。

表 2 河流型饮用水水源一级保护区
水域长度经验值

污染源 类型	水期	河段平均流速/ (m·s ⁻¹)	取水口上游 水域长度/m	取水口下游 水域长度/m
面源	丰水期	< 1.5	≥ 1 500	≥ 100
		≥ 1.5 , < 2.5	≥ 2 000	
		≥ 2.5	≥ 2 500	
点源	枯水期	< 0.8	≥ 1 500	≥ 100
		≥ 0.8 , < 1.5	≥ 2 000	
		≥ 1.5	≥ 2 500	

表 3 河流型饮用水水源二级保护区
水域长度经验值

污染源类型	水期	河段平均流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	距一级保护区上游 边界/m	距一级保护区下游侧 外边界/m
面源	丰水期	<1.5	向上游延伸 ≥ 2500	≥ 200
		$\geq 1.5, <2.5$	向上游延伸 ≥ 3000	
		≥ 2.5	向上游延伸 ≥ 3500	
点源	枯水期	<0.8	向上游延伸 ≥ 2500	≥ 200
		$\geq 0.8, <1.5$	向上游延伸 ≥ 3000	
		≥ 1.5	向上游延伸 ≥ 3500	

b. 水域宽度。一级保护区 没有堤防的河流型水源地,为 5 年一遇洪水所能淹没的区域,有堤防的为至堤防内侧的水域范围,通航河道在多年平均水位时,水面宽度达 500 m 以上的河流,以河道中泓线为界,保留一定宽度的航道外,规定的航道边界线到取水口范围即为一级保护区范围。

二级保护区:一级保护区水域向外 10 年一遇洪水所能淹没的区域,有防洪堤的河段二级保护区的水域宽度为防洪堤内的水域宽度。

c. 河口闸坝型水源。对非主要利用潮汐动力进行水体交换的河口拦河闸(坝)型水源,应同时满足水库型饮用水水源保护区和潮汐河段型饮用水水源保护区的划分要求。对主要利用潮汐动力进行水体交换的河口拦河闸(坝)型水源地参考潮汐河段型饮用水水源保护区的划分。

d. 低水头拦河闸坝型水源。对于库容系数大于 10% 具有调节功能的拦河闸(坝)型水源地水源保护区的划分参照水库型饮用水水源保护区的划分,其他类型的拦河闸(坝)型水源地水源保护区的划分参照河流型保护区划分,闸坝下游可不划保护区。

2.3.3.2 陆域

a. 陆域长度。陆域长度不小于相应的一级和二级保护区水域长度。

b. 陆域宽度。河流两岸为浅滩、平原、小山丘的水源地其陆域沿岸纵深与河岸的水平距离一级保护区不小于 50 m,若有防洪堤则为至堤外侧的距离;河流两岸为陡峭山峰的水源地其一级保护区陆域范围为沿岸侧纵深至第一重山山脊线。

二级保护区沿岸纵深范围自一级保护区陆域和二级保护区水域沿岸向外不小于 1000 m,具体可依据自然地理、环境特征和环境管理需要,通过分析地

形、植被、土地利用、地面径流的集水汇流特性、集水域范围等确定,两岸是陡峭山峰的河流型水源地,其第一重山山脊线高于 50 年一遇的洪水线时可不划二级保护区,有物理隔离区的、封闭输水河(渠)的水源地可视具体情况不划或适当划分二级陆域保护区,对于流域面积小于 100 km^2 的小型流域,二级保护区可以是整个集水范围。

3 应用实例

以广东 M 市为例进行经验值方法的划分。M 市位于广东东北部, H 江流域上游,为区域性中心城市,该市的主要饮水来源为临江的地表水。

3.1 饮用水水源基本情况

M 江为该市的备用水源,日供水能力 15 万 m^3 ,服务人口 47 万人,干流及其支流河段水质为 II ~ III 类,水质优良,枯水期水质好于丰水期。水源地周边分布 6 个工业源,有几条纳污支流汇入,有两条跨江大桥,沿江还存在着大量的农业用地及居民生活用地,交通和面源污染源给饮用水源水质安全带来较大隐患(图 1)。

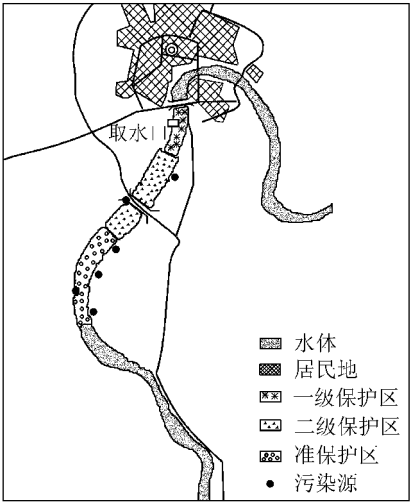


图 1 M 江饮用水水源保护区示意图

3.2 风险要素分析

水源地现存的 6 个点源已采取搬迁或关闭措施,目前主要考虑上游工业园、纳污支流和跨河大桥的风险:①工业园区污染物排放;②市政排污口排放;③交通事故造成的污染物泄漏。

3.2.1 市政排污口和工业园区对水源水质的影响

主要考虑人口增长及工业新城建设产生的污染物增量对水源水质的影响。对取水口上游减排措施削减量分析可知,至 2020 年, M 市区饮用水水源取水口上游地表水体的 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的纳污量将分别下降 1220 t/a、120 t/a,则上游来水背景水质不会变差,见表 4 所示。

表 4 M 市区饮用水水源取水口上游地表水体
2020 年纳污增量与减排量对比 t/a

污染物 指标	污染物增加量		污染物减排量	
	工业新城建设至 2020 年所规划产生的污染物	2020 年人口增加带来的污染物增量	污水处理厂污染物减排量	污染物增减量
COD	181	1069	2470	- 1 220
NH ₃ -N	28	144	292	- 120

3.2.2 交通事故可能造成的污染物泄漏

在饮用水水源保护区的跨河桥梁设置桥面雨水导流管,桥面雨水不直接排入河流,在桥头附近设置事故应急污水收集池,从措施上杜绝发生交通事故污染物迁移到取水口的可能。

3.3 划分结果

M 江水源地在河段为非潮汐河段,枯水期多年平均流速 0.18 m/s,洪水期多年平均流速 0.40 m/s,枯水期水质好于丰水期。在风险分析的基础上,按照经验值法并结合水源地的具体情况,M 江水源保护区的划分分别为:一级保护区 1.5 km;二级保护区 2.5 km;准保护区 2.5 km。

3.4 跟踪验证监测

为验证划分区域的合理性,对水源保护区的主要污染指标 COD 和 NH₃-N 进行了 1 年的水质跟踪监测。监测结果表明,水源一级保护区、二级保护区和准保护区内水质均达到了 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》II 类标准,表明划分范围合理,能满足水源水质管理目标要求(表 5)。

表 5 保护区划分后跟踪水质监测结果

断面 位置	监测 时间/d	ρ(COD)(mg·L ⁻¹)			ρ(NH ₃ -N)(mg·L ⁻¹)		
		左	中	右	左	中	右
一级保护区上边界	1	2.1	2.1	2.2	0.498	0.493	0.496
	3	2.3	2.3	2.3	0.226	0.306	0.344
	5	2.6	2.6	2.6	0.252	0.189	0.205
	7	2.5	2.4	2.4	0.417	0.436	0.433
	9	2.5	2.6	2.6	0.243	0.249	0.303
	11	2.4	2.0	2.6	0.303	0.204	0.243
二级保护区上边界	1	2.0	2.0	2.0	0.487	0.490	0.496
	3	3.0	3.0	3.1	0.270	0.211	0.214
	5	2.5	2.3	2.4	0.197	0.189	0.209
	7	2.4	2.3	2.4	0.436	0.453	0.428
	9	2.4	2.4	2.5	0.315	0.318	0.288
	11	2.9	3.0	2.9	0.273	0.273	0.258
准保护区上边界(为自动监测,站位设置在河右岸)	1			3.3			0.185
	3			2.8			0.107
	5			2.5			0.114
	7			1.0			0.232
	9			2.1			0.209
	11			2.2			0.231

4 结 语

笔者提出了非潮汐河段河流水源保护区经验值划分方法,提高了目前国内河流型水源保护区类比经验法划分的针对性、科学性和可操作性,在陆域范围的划分上结合了源地周边环境特征,避免了过度保护,提高了土地利用效率。但受多因素制约,论文所提供的划分方法仍显粗略,其合理性和科学性有待于实践中进一步验证。

参考文献:

[1] 李建新.生活饮用水地下水源保护区的划定方法[J].地理科学进展,1999,18(2):153-157.

[2] 蓝楠.中外饮用水源保护法律制度比较[J].国土资源,2006,64(11):62-64

[3] 李建新.德国饮用水水源保护区的建立与保护[J].地理科学进展,1998,17(4):88-97.

[4] US EPA. States must prioritize drinking water protection efforts: EPA issuing source assessment guidance[J]. Water Quality Professional,1997,1(6):1-4.

[5] US EPA. State source water asesment and protection programs guidance final guidance[R]. Washington D C :US EPA ,1997.

[6] US EPA. State methods for delineation of protection areas for surface water supplied source[R]. Washington D C :US EPA ,No.816R97008 ,1997.

[7] 朱兴旺,刘红妹,李云生,等.中俄饮用水水质安全保障措施比较分析[J].给水排水,2009,35(8):13-16.

[8] 周训华,姜海萍.赤田水库饮用水水源保护区划分与保护措施[J].水资源保护,2009,25(6):8-11.

[9] HJ/T388—2007 饮用水水源保护区划分技术规范[S].

(收稿日期 2010-06-16 编辑 高渭文)

