

# 地下水饮用水水源地保护区划分关键技术研究

陈学林<sup>1</sup>, 胡兴林<sup>2</sup>, 王双合<sup>2</sup>, 张天昌<sup>3</sup>, 马慧芳<sup>3</sup>

(1.甘肃省张掖水文水资源勘测局,甘肃 张掖 734000;2. 甘肃省水文水资源局,甘肃 兰州 730000;  
3.甘肃省酒泉水文水资源勘测局,甘肃 嘉峪关 735100)

**摘要:**依据《中华人民共和国水污染防治法》和《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ/T338-2007),对饮用水水源保护区进行科学合理划分是实现水资源综合开发、合理利用、积极保护、科学管理的基础工作,也是运用法律、行政、经济手段强化水资源管理的根本保证,是防治水污染、保护水资源的重要措施。饮用水水源保护区划分涉及经济社会发展、人类活动影响,地表、地下水资源数量,地表、地下水资源水质,陆地水文、工程地质水文,以及水利、环保等学科内容,是一项技术性较强,涉及学科较多的技术工作。通过饮用水水源保护区划分涉及关键技术和保护区划分工作的开展,合理确定水源的保护范围和保护目标,为地表、地下水资源的合理开发、保护、利用提供科学依据,以保障供水安全、生态与环境安全。

**关键词:**饮用水源地;保护区划分;地下水;关键技术

中图分类号:P641.8

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2013)06-0068-04

## 1 水源地保护区概述

水源地保护区是指国家为防止水源地(多为饮用水)污染、保护水源地环境质量而划定并要求加以特殊保护的一定面积的水域和陆域,它分为地表和地下水饮用水水源地保护区。

### 1.1 水源地分类

水源地按水源供水井分布情况分为集中式供水水源地和分散式供水水源地;按水源供给形式可分为河流供水水源地、水库(湖泊)供水水源地、地下水(井水、泉水)供水水源地;按供水用途可分为城市供水水源地和农村供水水源地。

### 1.2 划分水源地保护区工作内容

划分水源地保护区工作内容:①调查水源地及其外围的环境地质条件;②调查和收集水源地水资源开发利用现状及其有关资料;③调查和评价水源地水质状况,分析水源地附近及周边区域污染物对水源地水质的影响;④按照技术规范的要求,提出水源地保护区划分方案,计算分析确定一级保护区、二级保护区和准保护区的范围、面积及边界控制条件;⑤提出对水源地

保护区的管理措施和建议。

### 1.3 水源地保护区划分原则

水源地保护区划分原则:①保护优先原则;②预防为主,防治结合原则。地下水水源保护区应根据水源地所处的地理位置、水文地质条件、供水数量、开采方式和污染源的分布划定;③水质达标原则。地下水饮用水源一级保护区水质各项指标达到国家《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)中的Ⅱ类水质标准;二级保护区的水质,应当达到国家《地下水质量标准》的Ⅲ类水质标准;④保护区范围最小原则。在确保水源水质不受污染的前提下,划定的水源保护区范围应尽可能小;⑤因地制宜原则。地下水水源保护区的范围应根据地下水源区水文地质条件确定,并保证开采规划水量时能达到所要求的水质标准。划定的水源保护区范围,应防止水源地附近人类活动对水源的直接污染;应足以使所选定的主要污染物在向取水点(或开采井、井群)输移(或运移)过程中,衰减到所期望的浓度水平;在正常情况下保证取水水质达到规定要求,一旦出现污染水源的突发情况,有采取紧急补救措施的时间和缓冲地带。

收稿日期:2013-01-21

作者简介:陈学林(1967-),男,甘肃临泽人,高级工程师,主要从事水文水资源勘测、分析和评价。E-mail:chxuelin@126.com

## 1.4 水源地保护区划分方法

根据《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ/T338-2007)的规定,分别采用数学模型和经验公式两种方法进行计算,然后再与规范提供的保护区经验值进行比较,确定水源地安全约束条件,通过综合分析,最后确定一级保护区、二级保护区以及准保护区的范围。

## 2 水源地保护区划分关键技术

### 2.1 地表、地下水资源质量评价

依据环保和水文部门提供的水质监测资料,按照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)、《地下水质量标准》(GB/T14848-93)及《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)评价标准,采取单因子法和综合评价法,对地表水、地下水天然水化学、水质进行评价。天然水化学评价中选取天然水化学类型、pH值、矿化度、水质等级。水质评价中根据水质监测资料,选取pH值、溶解氧、高锰酸盐指数、COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、非离子氨、亚硝酸盐、硝酸盐、挥发酚、总氰化物、总砷、总磷、六价铬、汞、镉、铅、铜、锌、石油类、氟化物、硫酸盐、氯化物、阴离子表面活性剂、大肠菌群、氨氮等参数作为评价因子,对地表、地下水环境质量进行评价。综合评价中综合评价分值 $F$ 计算式为:

$$F = \sqrt{\frac{\bar{F}^2 + F_{\max}^2}{2}} \quad (1)$$

其中

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i$$

式中: $\bar{F}$ 为各单项组分评分值 $F_i$ 的平均值; $F_{\max}$ 为单项组分评价分值 $F_i$ 中的最大值; $n$ 为项数。

### 2.2 污染源分析

#### 2.2.1 地表水污染源分析

##### 2.2.1.1 河流污染源

河流污染源主要来自于供水区上游城市、工矿企业的废污水、矿渣以及生活垃圾向河道排放,农业灌溉水向河道回归造成的污染。

##### 2.2.1.2 水库污染源

水库污染源主要来自于补给水库河流河水的污染,还有水库入库段公路、铁路、油(气)管道可能发生的交通(漏油)事故以及工矿企业、农业生产、生活污水排放。

#### 2.2.2 地下水污染源分析

##### 2.2.2.1 点污染源

点污染源是指在固定位置、集中释放污染物的污染源,主要包括城镇工业和生活废污水排放口以及固体垃圾堆放场。可根据发布的环境质量公报统计。

##### 2.2.2.2 面污染源

主要包括农业生产、水土流失、废气、灰尘排放降落等,这些污染源会在更大范围内通过降水和径流入渗等过程间接对地表水或地下水造成污染,可根据环保系统发布的环保状况公报统计。另外,城市面污染源中城市街面、屋顶通常会积存大量的污染物,在发生降雨时,这些污染物会被雨水冲入下水道,形成面污染源。

##### 2.2.3 水源地污染源分析

城市、农村点污染源,农业生产面污染源,城市化高速发展造成的新的面污染源,以及各种突发污染事件等,对水源地水质安全可能造成的隐患。因此,在进行水源地保护区规划时,必须分析各种可能发生的污染情况,采取有针对性的预防、保障措施,使规划更加科学、合理,以确保水源地水质的绝对安全。根据水源地的分布位置以及周围环境,应对水源地水污染隐患逐一进行分析。

### 2.3 水源地保护区半径确定

水源地保护区半径计算有两种方法:数学模型法和经验公式法。

#### 2.3.1 数学模型法

《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ/T338-2007)规定:对日供水量大于 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的大型水源地保护区半径通过数学模型法计算。

##### 2.3.1.1 数学模型的确定

###### (1) 控制方程

$$R\theta \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \theta D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C) - q_s C_s - q_s' C_s - \lambda_1 \theta C - \lambda_2 \rho_b \bar{C} \quad (2)$$

式中: $R$ 为迟滞系数, $R=1+\frac{\rho_b}{\theta} \frac{\partial \bar{C}}{\partial C}$ ,无量纲; $\rho_b$ 为介质密度[ $\text{ML}^{-3}$ ]; $\theta$ 为介质孔隙度,无量纲; $C$ 为组分的浓度[ $\text{ML}^{-3}$ ]; $\bar{C}$ 为介质骨架吸附的溶质浓度[ $\text{ML}^{-3}$ ]; $T$ 为时间[ $\text{T}$ ]; $x,y,z$ 为空间位置坐标[ $\text{L}$ ]; $D_{ij}$ 为水动力弥散系数张量[ $\text{L}^2 \text{T}^{-1}$ ]; $v_i$ 为地下水渗流速度张量[ $\text{LT}^{-1}$ ]; $q_s, q_s'$ 为源和汇[ $\text{T}^{-1}$ ]; $C_s$ 为源或汇水流中组分的浓度[ $\text{ML}^{-3}$ ]; $\lambda_1$ 为溶解相一级反应速率[ $\text{T}^{-1}$ ]; $\lambda_2$ 为吸附相一级反应速率[ $\text{T}^{-1}$ ].

(2)初始条件

$$C(x, y, z) = c_0(x, y, z) \quad (x, y, z) \in \Omega, t=0 \quad (3)$$

式中:  $c_0(x, y, z)$  为已知浓度分布;  $\Omega$  为模型模拟区域。

(3)定解条件

第一类边界狄利克雷边界(Dirichlet 边界)

$$C(x, y, z, t) = c(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \in \Gamma_1, t \geq 0 \quad (4)$$

式中:  $\Gamma_1$  为定浓度边界;  $c(x, y, z, t)$  为定浓度边界上的浓度分布。

第二类边界诺埃曼边界(Neumann 边界)

$$\theta D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} = f_i(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \in \Gamma_2, t \geq 0 \quad (5)$$

式中:  $\Gamma_2$  为通量边界;  $f_i(x, y, z, t)$  为边界  $\Gamma_2$  上已知的弥散通量函数。

第三类边界柯西(Cauchy 边界)

$$\theta D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} - q_i C = g_i(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \in \Gamma_3, t \geq 0 \quad (6)$$

式中:  $\Gamma_3$  为混合边界;  $g_i(x, y, z, t)$  为  $\Gamma_3$  上已知的对流~弥散总的通量函数。

根据水源地具体情况,基于最安全考虑,对水质模型作如下简化:忽略介质骨架的吸附、溶解项、忽略源、汇项,令迟滞系数为 1。

则控制方程即可简化为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (v_i C) \quad (7)$$

分析水源地污染源状况,污染物遇到降雨时会被地表产流带入地下水,形成短时间的污染源,即暂时污染源,基于这种分析来确定控制方程的定解条件。

初始条件:  $C(x \geq 0, t=0) = 0$ ;

边界条件:  $C(x=0, 0 < t < t_p) = C_0$ ,  $C(x=\infty, t \geq 0) = 0$ ,  $C(x=0, t \geq t_p) = 0$ 。在上述条件下,控制方程可以用下式表示:

$$\begin{cases} D \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) - v \left( \frac{\partial C}{\partial x} \right) = \frac{\partial C}{\partial t} - n \\ C(x \geq 0, t=0) = 0 \\ C(x=0, 0 < t < t_p) = C_0 \\ C(x=\infty, t \geq 0) = 0 \\ C(x=0, t \geq t_p) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

上述条件下方程的解析解为:

$$\bar{C}(x, t) = \frac{1}{2} C_0 \left[ \operatorname{erfc} \frac{x-vt/n}{2\sqrt{Dt/n}} - \operatorname{erfc} \frac{x-v(t-t_p)/n}{2\sqrt{Dt/n}} \right] \quad (9)$$

式(9)在  $\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} \Big|_{t=t_p} = 0$  的条件下,可求得距污染源  $x$  处污

染物的最大浓度值为:

$$\bar{C}_{\max} = \frac{1}{2} C_0 \left[ \operatorname{erf} \frac{vt_p/n}{4\sqrt{D\left(\frac{nx}{v} + 0.5t_p\right)}/n} + \operatorname{erf} \frac{vt_p/n}{4\sqrt{D\left(\frac{nx}{v} - 0.5t_p\right)}/n} \right] \quad (10)$$

式中:  $t_{\max} = \frac{xn}{v} + 0.5t_p$ ;  $t = \frac{xn}{v}$ ;  $t_p$  为暂时污染源侵入的时间。

式(10)中,当  $\bar{C}_{\max}$  约为零时,所求得的  $x$  值即为污染物捕获的最远距离。

### 2.3.1.2 数学模型参数的确定

(1)污染源污染物浓度及侵入时间的确定。在公路及铁路上降雨初期(前 15 分钟)所形成的径流中  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的平均含量,随着降雨历时和降雨量的增加其平均浓度会逐步减小,基于安全考虑,计算时取降雨初期的最大值。设想雨水所产生的径流在公路边沟中汇集并充分混合后,在出口处渗入地下,入渗时间根据该地区一场可能最大降雨量在各水源地现有公路长度上所形成的径流总量与下渗强度的比值来确定。

(2)各水源地水文地质参数的确定。根据地质勘查部门水源地供水井施工报告、区域地下水综合勘察报告和《饮用水水源保护区划分技术规范》等提供的有关资料,确定各水源地的渗透系数  $K$ 、水力坡度  $J$ 、有效孔隙度  $n$  三个水文地质参数。

### 2.3.1.3 数学模型演算结果

以公路径流入渗点为污染源的侵入点,设此点  $X=0$ ,初始浓度  $C_0$ ,然后由近及远,取不同距离( $X$  值),根据式(10)进行演算,当  $C_{\max} \leq 0.5\text{mg/L}$ ,即本污染物国标检测方法检测限的一半时,结束演算,此时的距离  $X$  值,即为污染源在流向上的最大影响距离,或叫最大捕获距离。

### 2.3.2 经验公式法

《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ/T338-2007)所提供的经验计算公式为:

$$R = \alpha KIT/n \quad (11)$$

式中:  $R$  为保护区半径,  $m$ ;  $\alpha$  为安全系数,一般取 150%, (为了安全起见,在理论计算的基础上加上一定量,以防未来用水量的增加以及干旱期影响造成保护区半径扩大);  $K$  为含水层渗透系数,  $m/d$ ;  $I$  为水力坡度(为漏斗范围内的水力平均坡度);  $T$  为污染物水平迁移时间,  $T=100d$ ;  $n$  为有效孔隙度。

## 2.4 突发性污染事故分析

突发漏油、事故性溢油事件是一个潜在的污染问题,为了采取有效地预防措施,需要根据数学模型对所划定的保护区半径所能承受的最小漏油量进行计算,以便为制定预警方案提供科学依据。

该事件通常被当作脉冲问题处理,一般采用贝耶尔(Baetsle)点源模型,其解析解为:

$$C(x, y, z, t) = \left[ \frac{C_0 V_0}{8(\pi t)^{3/2} (D_x D_y D_z)^{1/2}} \right] \exp \left[ -\frac{(x-vt)^2}{4D_x t} - \frac{y^2}{4D_y t} - \frac{z^2}{4D_z t} - \lambda t \right] \quad (12)$$

式中:  $C_0$ 、 $V_0$  分别为污染源浓度和污染物体积,因此乘积  $C_0 V_0$  表示漏油、溢油的质量;  $D_x$ 、 $D_y$ 、 $D_z$  为水动力弥散系数;  $v$  为污染物的速度;  $x$ 、 $y$ 、 $z$  为空间坐标;  $t$  为时间;  $\lambda$  为衰减常数,如果不存在衰减物质,则  $\lambda t$  项可以忽略。

对于理想的三维点源模型,在水流方向上存在弥散作用,其弥散晕中心浓度的最大值( $y=z=0$  且  $x=vt$ ) 可以表示为:

$$C_{\max} = \frac{C_0 V_0 e^{-\lambda t}}{8(\pi t)^{3/2} (D_x D_y D_z)^{1/2}} \quad (13)$$

用式(13)对水源地不同溢油渗漏量与最大影响半径进行计算。

输油管道发生原油泄漏,石油类污染物将下渗并污染浅层孔隙水含水层,该含水层是输油管道区内主要饮用水源,如不能及时处理可能影响饮水安全。由于污染物在含水层迁移速度较缓慢,有足够时间采取相应的治理措施修复受污染环境。

## 3 结论

通过对水源地保护区划分中普遍应用的地表、地下水资源质量评价方法进行探讨,结合《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ/T338—2007)规定的保护区半径确定方法进行研究、讨论;应对当前西油(气)东输管线穿越以及铁路(公路)高速发展的实际,并对突发漏油、事故性溢油这类突发性污染事故进行分析。具体研究及方法如下:

(1) 针对地表、地下水资源质量,提出单因子和综合评价方法。

(2) 提出地表水、地下水、水源地污染源分析思路和方法。

(3) 结合《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ/T338—2007)规定的保护区半径确定方法,对数学模型和经验公式法进行深入探讨。在全面了解研究区环境水文地质特征、水环境质量、污染源的空间分布以及地下水的污染种类特征的基础上,把数学模型演算成果和经验公式计算结果对照,科学、合理地确定水源地各级保护区的范围。

(4) 对可能存在的漏油、事故性溢油突发性污染事故进行分析,提出水源地不同溢油渗漏量与最大影响半径计算模型。

参考文献:

- [1] GB/T 14848—93, 地下水质量标准 [S]. (GB/T 14848-93, Quality Standard for Ground Water [S]. (in Chinese))
- [2] GB 3838—2002, 地表水环境质量标准 [S]. (GB/T 3838-2003, Environmental Quality Standard for Surface Water [S]. (in Chinese))
- [3] GB 15618—1995, 土壤环境质量标准 [S]. (GB/T 15618-1995, Soil Environmental Quality Standard [S]. (in Chinese))
- [4] 孙培德, 楼菊青. 环境系统模型及数值模拟[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005. (SUN Peide, LOU Juqing. Environment System Model and Numerical Simulation [M]. Beijing: China Environment Science Press, 2005. (in Chinese))
- [5] 余钟波, 黄勇, Franklin W. Schwartz. 地下水水文学原理[M]. 北京: 科学出版社, 2008. (YU Zhongbo, HUANG Yong, Franklin W. Schwartz. Groundwater Hydrology Theory [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese))
- [6] 李力争. 划分地下水水源地保护区的研究 [J]. 中国环境科学, 1995, 15(5): 338-341. (LI Lizheng. A study on zoning of groundwater resource protective area [J]. China Environmental Science, 1995, 15(5): 338-341. (in Chinese))
- [7] 徐明峰, 马振洲. 长春市市区地下水源地保护区划分研究[J]. 东北水利水电, 2006, 266(24): 22-24. (XU Mingfeng, MA Zhenzhou. Study on protecting area division of groundwater in Changchun city [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2006, 266(24): 22-24. (in Chinese))
- [8] 孙丽彪, 李明辉, 于海. 科尔沁区饮用水水源地保护区划分技术方法[J]. 内蒙古民族大学学报, 2008, 14(4): 105-107. (SUN Libiao, LI Minghui, YU Hai. Dividing technical method of drinking water source protection area in Ke'erqin region [J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities, 2008, 14 (4): 105-107. (in Chinese))
- [9] 徐海珍, 李国敏. 地下水水源地保护区划分方法研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2009, (2). (XU Haizhen, LI Guomin. Summary of research on the method of partition of the groundwater wellhead protection zone [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, (2). (in Chinese))

件,充分考虑了水文信息处理的各个方面,从用户角度出发,把各种功能按类别进行划分,功能有了完整实现,并考虑了网络访问安全和数据安全,软件还设有自动更新功能,可以实现及时升级。数据处理软件的原型可以满足水文系统各层次用户的应用,小到基层测站,大到管理上千站点的水文局均可以使用该软件完成业务作业;其应用版软件还可以很好地帮助水文的用户单位,如河道、湖库管理处等水利水务单位的业务应用,使他们在水文单位的管理之下,顺利完成相关的水文数据采集与处理。

本软件为绿色软件,需要安装在能访问互联网的计算机上,尽量少运行其它程序,尤其不要安装游戏软件和下载软件等。

参考文献:

[1] SL323-2011, 实时雨水情数据库表结构与标识符[S]. (SL323-2011, Real-Time Hydrological Information Database Table Structure and I-

dentifier [S]. (in Chinese))

- [2] SL330-2005, 水情信息编码标准 [S]. (SL330-2005, Standard for Hydrological Information Code [S]. (in Chinese))
- [3] SD 265-88, 水面蒸发观测规范 [S]. (SD265-88, Water Surface Evaporation Observation Criterion [S]. (in Chinese))
- [4] SL183-2005, 地下水监测规范 [S]. (SL183-2005, Groundwater Monitoring Specification [S]. (in Chinese))
- [5] SL61-2003, 水文自动测报系统技术规范 [S]. (SL61-2003, Automatic System of Hydrological Measuring and Forecasting Technology Standard [S]. (in Chinese))
- [6] 张建云, 唐镇松, 姚永熙. 水文自动测报系统应用技术 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005. (ZHANG Jianyun, TANG Zhensong, YAO Yongxi. Application Technology for Automatic System of Hydrological Data Collection and Transmission [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005. (in Chinese))
- [7] 李维. Delphi7 高效数据库程序设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003. (LI Wei. Delphi7 Efficient Database Programming [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2003. (in Chinese))

## Application of Hydrologic Basic Data Universal Platform in Flood Forecasting and Hydrologic Data Processing

WANG Zhanfeng

(Baoding Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Baoding 071000, China)

**Abstract:** The hydrologic basic data universal platform provides more and more service for automatic hydrologic information collection and data processing, because of the advantages of open, reliable, scalable. Now application of the platform is gradually expanding. This paper explained the application of the platform in automatic hydrology information collection, vector surveillance diagram automatically updating, automatic hydrological information generating and transmitting, and hydrologic data downloading and converting to computerized format.

**Key words:** hydrologic basic data universal platform; data process; hydrological information code; hydrologic data processing

(上接第 71 页)

## Research on Key Technology for Dividing Protection Zone of Drinking Water Sources

CHEN Xuelin<sup>1</sup>, HU Xinglin<sup>2</sup>, WANG Shuanghe<sup>2</sup>, ZHANG Tianchang<sup>3</sup>, MA Huifang<sup>3</sup>

(1. Zhangye Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Gansu Province, Zhangye 734000 China;

2. Hydrology and Water Resources Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730000 China;

3. Jiuquan Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Gansu Province, Jiayuguan 735100 China)

**Abstract:** According to the Water Pollution Prevention Law of the People's Republic of China and Technical Guideline for Delineating Source Water Protection Areas (HJ/T338-2007), scientific and reasonable dividing of the drinking water sources protection zone is the fundamental work of the water resource synthetical developing, reasonable utilizing, active protecting and scientific managing. In addition, it is the ultimate guarantee of consolidating water resource management using legal, administrative and economic methods, and the important steps of preventing water pollution and protecting water resource. Division of drinking water sources protection zone relates to economy and society development, human activity affection, quantity and quality of surface and ground water, land hydrology, engineering geology hydrology, water conservancy and circumstance protection. This technology can provide scientific accordance for reasonable developing, protecting and utilizing the surface and ground water, in order to ensure the safety of water supplying, zoology and environment.

**Key words:** drinking water sources area; protection zone dividing; ground water; key technology