

DOI:10.13476/j.cnki.nsbdkk.2021.0078

王佳,容海亮,薛雨,等.傍河型地下水水源地保护区划分方法及实例[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(4):750-757. WANG J,RONG H L,XUE Y,et al.Division method and example of riverside groundwater source protection area[J].South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology,2021,19(4):750-757.(in Chinese)

傍河型地下水水源地保护区划分方法及实例

王佳¹,容海亮²,薛雨³,宋保平¹,王泽鹏⁴,张素珍¹

(1.石家庄学院,石家庄 050035;2.石家庄职业技术学院,石家庄 050081;3.河北省石津灌区事务中心,石家庄 050000;
4.北京中岩大地科技股份有限公司,北京 100041)

摘要:傍河型地下水水源地兼具河流型水源地和地下水型水源地特点,由于其位置的特殊性和补给条件的复杂性,保护区划分技术难度较大,对傍河型地下水水源地保护区划分的研究,可完善保护区划分方法,加强水源保护。从水源地环境状况调查、水源类型确定、保护区划分方法、定界原则等4个方面对保护区划分技术要点进行分析,并以石家庄市平山县王母水源地为例,对该傍河型水源地保护区划分进行研究,在准确判定该水源类型的基础上,采用经验公式法计算保护区陆域范围,采用类比经验法确定保护区水域范围,并结合周边地形地物条件对保护区范围进行修正,明确了平山县王母水源地一级和二级保护区边界及面积。平山县王母水源地保护区的划分保证了水源地免受污染,保障用水安全,并为其他傍河型地下水水源地保护区划分提供参考。

关键词:傍河型;地下水水源地;保护区划分;经验公式法;类比经验法

中图分类号:TV213;P641.8 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



水是一切生命赖以存在的基础,获得安全饮用水是人类生存的基本要求^[1]。地下水因其水质好、投资少、不易受污染等优点成为人类重要的供水水源。为了保证用水安全,建立地下水水源地保护区是最可靠、有效的方法和手段^[2-3]。党中央、国务院高度重视饮用水安全工作,将饮用水水源保护作为中央生态环保督察的工作重点;原国家环境保护部2015年以来出台了《集中式饮用水水源地规范化建设环境保护技术要求》《饮用水水源保护区划分技术规范》等一系列标准规范,以支撑不同级别水源保护区水质评估与管理;2018年在全国范围内部署开展了集中式饮用水水源地环境保护专项行动;为落实《水污染防治法》,2018年确立了以饮用水水源取水口为核心,向周边扩展的分级保护管理策略^[4-6]。目前,我国已建立了较为完备的水源地规范化管理机制^[7]。

傍河型地下水水源地是指建于河流堆积地貌区的地下水水源地,地下水埋藏较浅,开采水量一部分来自区域地下水径流,另一部分来自近距离的河流转化^[8]。由于傍河型地下水水源地位置的特殊性和补给条件的复杂性,保护区划分技术难度较大。2018年3月12日,原国家环境保护部发布了《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ 338—2018)(以下简称《规范》),2018年7月1日开始实施^[9]。该规范只是规定了傍河型地下水水源地的划分应按照国家河流型水源和地下水型水源分别划分保护区范围,取二者并集作为最终的保护范围,并没有针对傍河型地下水水源地的特殊性给出可操作性的划分方法和步骤。关于傍河型地下水水源地的研究,廖资生等^[10]、戴长雷等^[11]、高淑琴等^[12]论证了不同区域傍河地带的地下水资源潜力;赵云章等^[13]对黄河下游黄河水对两侧地下水的补给范围作了初步研究;

收稿日期:2020-10-17 修回日期:2021-06-08 网络出版时间:2021-06-11

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20210609.1626.002.html

基金项目:河北省重点研发计划(18273620)

作者简介:王佳(1981—),女,河北行唐人,讲师,主要从事生态环境及地下水研究。E-mail:wangjia5745@sina.com

通信作者:容海亮(1980—),男,河北石家庄人,副教授,主要从事数据处理研究。E-mail:421653583@qq.com

王婉丽等^[14]论证了地下水应急开采对郑州市傍河水源地的影响。相关研究大多是从傍河型地下水源地开发潜力、水源补给范围及地下水和地表水的水力联系角度进行的分析,对傍河型水源地保护区划分方法的研究较少。系统梳理傍河型地下水饮用水水源保护区划分技术方法,分析该类型保护区划分过程中需要注意的技术要点并以平山县王母水源地为例进行实证研究,为今后划分傍河型地下水饮用水水源保护区提供借鉴。

1 傍河型地下水水源地保护区划分技术要点

1.1 傍河型地下水水源地及河流基础环境状况调查

饮用水源地基础环境状况调查是水源地保护区划分的基础性工作,尤其是水源地水质状况的评价及周边污染源及风险源的调查,是该水源地能否划分保护区的重要前提,对于傍河型地下水水源地,还需要分析附近河流的水质,调查河流上游的污染源分布情况、水源地周边污染源的迁移方向和速度、直接影响划分的水源地保护区的范围大小及形状。

1.2 傍河型地下水水源地类型确定

首先根据水源地区域的地下水赋存、分布情况,结合当地的地质地貌资料、水文地质图和成井结构图判定水源地地下水赋存类型为孔隙水、基岩裂隙水还是岩溶水;其次根据地下水埋藏条件,确定水源地地下水为潜水型还是承压水型,这是水源地是否需要划分二级保护区的关键。根据《规范》要求,一级保护区与二级保护区半径相差 10 倍,分析准确与否直接影响保护区的面积大小。潜水型和承压水型地下水最大的区别为水源井开采层上部是否有稳定而连续的隔水层,上下含水层是否连通,必须根据大量研究实例对水源井所在区域不同走向的水文地质剖面图进行综合分析。傍河型地下水水源地地下水多与河流联动,一般井深较浅,开采层位多位于潜水区,因此含水层类型多为潜水,需要划分二级保护区,若地下水补给区范围大于计算的二级保护区,还需要划分准保护区。最后按照水源地开采规模确定为中小型或大型水源地,日开采量小于 5 万 m³ 的为中小型水源地,日开采量大于或等于 5 万 m³ 的为大型水源地。

1.3 傍河型地下水水源地保护区划分技术方法

对于傍河型地下水水源地,要按照地下水型和地表水型水源保护区划分方法,分别划定相应的保

护区范围,取二者保护区划分结果的并集作为傍河型水源保护区范围。地下水饮用水水源保护区划分的技术方法主要有:经验公式法、经验值法、数值模型计算法。可根据水源地的规模、水文地质条件、含水层边界、地下水流场边界、水流运移时间、污染源和污染途径、防污能力等,选择不同的保护区划分方法。具备计算条件的大型水源地可采用数值模型计算法,中小型水源地可采用经验公式法,资料严重缺乏的水源地可采用经验值法确定保护区范围。相对于经验公式法,数值模拟法划分结果更精确,但数值模拟法在水文地质条件复杂、边界条件众多的地区应用意义更大^[15-19]。地表饮用水水源保护区水域的划分方法有类比经验法、应急响应时间法和数值模型计算法,可根据河流水质、上游污染源类型和污染能力大小,选择不同的保护区划分方法。其中:当河流水质达标、只存在面源污染且上游无重大风险源时,可采用类比经验法;当上游点源污染较多且污染物为重金属或有毒有机物时,可采用应急响应时间法;当上游污染源以城镇生活、面源为主,且污染物为可降解物质时,可采用数值模型计算法^[9]。此外,需根据地下水的补给方向,修正保护区划分范围:若以河流补给地下水为主,可适当缩小保护区的陆域范围;若为地下水补给河流为主,可适当缩小保护区的水域范围。

1.4 傍河型地下水水源地保护区定界原则

根据《规范》中保护区划分方法确定的保护区形状一般为圆形区域,但此形状无法确定保护区边界的拐点坐标,不利于保护区管理工作。为了便于开展饮用水水源保护区的日常管理,若保护区范围较小,周边没有其他建筑物遮挡,可把保护区范围修正为圆形的四向切线围成的正方形,若保护区范围较大,可结合区域地形地貌、地下水流向、地标等特点,利用保护区及周边的行政界线、公路、铁路、建筑物、河流等具有明显标志的地物,修正保护区界线为不规则多边形,并确定保护区拐点坐标,方便今后的保护区勘界定标及日常管理。

2 傍河型地下水水源地保护区划分实例

2.1 王母水源地基本情况

王母集中式饮用水水源地位于平山县城北部 2.5 km 的王母村西北侧、钢城路西侧、滹沱河南岸。平山县地处河北省西部、太行山东麓,东距省会石家庄市 30 km,全县总面积 2 613 km²,人口 46 万人^[20]。该水源地有水井 6 眼,分布较为集中,井深均为

20 m,单井设计水量 100 m³/h,供应平山县城桥西片区用水。该水源地紧邻河北省会石家庄的地表饮用水水源地保护区——岗黄水库之间的滹沱河主河道,属于傍河型地下水水源地。王母水源地位于石家庄饮用水水源地的二级保护区范围内且紧邻一级保护区,由于该水源地的特殊区位,在保护区划分过程中要充分考虑到岗黄水库及滹沱河与该水源地的相互影响。

2.2 水源地及附近河流水质状况及周边污染源分析

对王母水源地 6 眼水井的水质监测及分析可知,水源地符合《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)^[21]中Ⅲ类水质标准要求,而滹沱河近 5 年水质监测结果显示,河水均能达到地表水Ⅲ类水质标准。水源地 6 眼水井分布较为集中,东北部紧邻滹沱河河道,在河流上游及水源地周边 1 000 m 范围内没有污水排放企业 and 生活排污口等点源污染,但存在种植业、坑塘、村庄、学校、道路等面源和流动污染源,因此水源保护区划分要充分考虑到周边污染源的分布情况。

2.3 水源地类型确定

平山县王母水源地紧邻滹沱河道,该区域地形平坦,地下水贮存条件良好,主要贮存于全新统和更新统的冲积层、洪积层等孔隙含水层,主要分布于滹沱河河谷及两岸Ⅰ级阶地,含水层厚度 6~40 m,河谷区域含水层厚度可达 50 m 以上。根据区域水文地质条件、地层岩性及钻孔柱状图可知,该水源地地下水类型为孔隙水,地下水埋藏条件为潜水,潜水含水层岩性以中粗砂为主。王母水源地设计日供水量为 2 万 m³,日开采量小于 5 万 m³,为中小型水源地。地下水补给主要来自大气降水,其次是汛期存在的滹沱河渗漏补给。

2.4 保护区划分方法及参数计算

由于王母水源地类型为中小型孔隙潜水水源地,在保护区陆域部分划分方法的选择上,可采用中小型地下水水源地常用的经验公式法计算保护区陆域半径,再用经验值法验证计算的准确度,在保护区水域部分划分方法的选择上,由于附近河流水质达标、只存在面源污染且上游无重大风险源,因此采用类比经验法划分保护区水域部分。

2.4.1 用经验公式法计算保护区陆域半径

地下水水源地保护区半径计算的公式^[5]为

$$R = \alpha \times K \times I \times T / n \quad (1)$$

式中: R 为保护区半径, m; α 为安全系数,一般取

150%; K 为含水层渗透系数, m/d; I 为地下水水力坡度,无量纲; T 为污染物水平迁移时间, d; n 为有效孔隙度,无量纲,采用水井所在区域代表性的 n 值。

为了使水源保护区划分的更加合理,需要采取适合的方法计算出各参数取值,代入式(1)计算出保护区半径。

(1) 渗透系数(K)

水源保护区划分时通常依据水源地上部潜水含水层介质类型,通过选取不同岩性渗透系数经验值确定。此种方法较为简单快捷,但是得到的渗透系数是一个区间值,渗透系数的实际值选取较为主观随意,误差较大。为使渗透系数取值更加准确,可通过单井稳定抽水试验的结果,应用潜水完整井参数计算公式计算得到。王母 1 号水源井抽水试验数据见表 1。

表 1 王母 1 号水源井抽水试验数据
Tab. 1 Data sheet of pumping test for Wangmu No. 1 water source well

水井编号	静水位/ m	动水位/ m	Q / (m ³ ·h ⁻¹)	H / m	S / m	r / m
王母 1 号井	2.11	9.32	60	10.89	7.21	0.8

研究区地下水类型为潜水,采用潜水完整井参数计算公式为

$$\begin{cases} K = [0.732Q \lg(R/r)] / [(2H - S)S] \\ R = 2S(HK)^{1/2} \end{cases} \quad (2)$$

式中: K 为含水层渗透系数, m/d; Q 为抽水井出水量, m³/d; R 为抽水井影响半径, m; r 为抽水井半径, m; H 为含水层厚度, m; S 为水位降深值, m。

王母水源地 1 号井渗透系数(K)计算结果见表 2,由于 6 眼水井相距较近,成井结构和水文地质条件类似,因此其余 5 眼井可参照 1 号井的渗透系数。

表 2 王母 1 号水源井抽水试验参数计算成果
Tab. 2 Calculation results of pumping test parameters of Wangmu No. 1 water source well

水井编号	R /m	K /(m·d ⁻¹)
王母 1 号井	236.98	24.8

(2) 水力坡度(I)

水力坡度(I)的计算是选取区域等水位线图上两个端点,沿地下水流动方向,垂直量取两端点之间的图上距离,通过比例尺换算为实际距离,并根据两点之间的水头差,采用式(3)计算得出。

$$I = c / d \quad (3)$$

式中: I 为水力坡度,无量纲; c 为两端点之间水头差, m; d 为两端点之间实际距离, m。

由于等水位线图一般区域较大,比例尺偏小,图上量取存在较大误差,此种方法只适合于水文地质条件简单且井数较少的区域,对于井群区域,水力坡度(I)为研究区漏斗范围内的水力平均坡度,此种方法不太适合。本研究区利用周边的 15 眼居民水井及农用井的抽水试验数据,依据区域等水位线图,通过内插法得到该研究区水位标高,水位标高差除以两点的距离得到水力坡度(I),再次代入公式(1),经过反复的迭代运算,最终水力坡度(I)稳定在一个固定值,计算得出研究区漏斗范围内的水力平均坡度(I)为 4.65 ‰,此种方法计算出的水力坡度,避免了直接量取的误差,结果准确度高。

(3)有效孔隙度(n)

有效孔隙度在数值上应与给水度相同,根据本区域水文地质资料可知,平山县给水度范围为 0.152 4~0.298 0。参考有效孔隙度(n)经验值(表 3),中砂岩层有效孔隙度为 0.22~0.26,考虑到

6 眼水井的含水层岩性以中粗砂为主,因此有效孔隙度(n)取中砂的最大值 0.26。

表 3 有效孔隙度(n)经验值
Tab. 3 Effective porosity (n) empirical value

岩层	有效孔隙度	岩层	有效孔隙度
黏土	0.02~0.03	粗砂	0.26~0.28
亚黏土	0.05~0.08	砾石	0.23~0.25
粉砂	0.15~0.17	细砾	0.22~0.24
细砂	0.18~0.21	中砾	0.21~0.23
中砂	0.22~0.26	粗砾	0.20~0.22

(4) 污染物水平迁移时间(T)

对于污染物水平迁移时间,根据《规范》要求,一级保护区 T 取 100 d,二级保护区 T 取 1 000 d。

(5) 安全系数(α)

根据《规范》要求,安全系数(α)值一般取 150%。根据计算所得的水文地质参数,可确定研究区陆域保护区(R)半径,计算结果见表 4。

表 4 保护区半径(R)计算
Tab. 4 Radius (R) table of protected area

井号	渗透系数/ ($m \cdot d^{-1}$)	水力 坡度	有效孔 隙度	安全 系数	污染物水平 迁移时间/d	一级保护区半径 计算值/m	二级保护区半径 计算值/m
1~6 号井	24.8	0.004 65	0.26	1.5	100	66.5	665.0

王母水源地潜水含水层岩性为中粗砂为主,利用经验公式法计算得出一级保护区半径为 66.5 m,二级保护区半径为 665.0 m,此值位于中砂的保护区半径经验值和粗砂的保护区半径经验值(表 5)之间,此计算结果与经验值保持一致。

表 5 中小型潜水性水源保护区范围的经验值^[9]

Tab. 5 The empirical value of the scope of medium and small-sized phreatic water source protection area

介质类型	一级保护区半径/m	二级保护区半径/m
细砂	30	300
中砂	50	500
粗砂	100	1 000
砾石	200	2 000
卵石	500	5 000

2.4.2 用类比经验法划分保护区水域范围

类比经验法是利用以往研究经验,在相似地形地段采用经验参数进行研究的方法,该方法适用于地形及水文条件较简单的区域^[22]。根据王母水源地周边的滹沱河水质现状调查和评价可知,各项水质指标均满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅲ类标准要求^[23]。在王母水源地周边主要污染源为面源,且上游 24 h 流程时间内无重大风险

源,满足用类比经验法划分河流型饮用水水源保护区的要求,因此可采用类比经验法确定一级和二级保护区水域范围。

(1)一级保护区水域。一般河流一级保护区水域长度为取水口上游不小于 1 000 m、下游不小于 100 m 范围内的河道^[9]。由于滹沱河水质较好,周边无重大风险源,且滹沱河本身就属于地表水的一级保护区,因此水域部分只需参照《规范》的基本条件确定即可,不需要向上游和下游继续延伸。研究区 1 号井位于滹沱河上游方向,6 号井位于滹沱河下游方向,从 1 号井做一条垂直于滹沱河的垂线,向上游延伸 1 000 m,从 6 号井做一条垂直于滹沱河的垂线,向下游延伸 100 m,上游 1 000 m 和下游 100 m 包含的全部河道范围为一级保护区的水域范围。

(2)二级保护区水域。二级保护区长度从一级保护区的上游边界向上游(包括汇入的上游支流)延伸不小于 2 000 m,下游侧的外边界距一级保护区边界不小于 200 m^[9]。二级保护区水域范围的确定依据参照一级保护区水域,确定为自一级保护区水域的上游边界向滹沱河上游延伸 2 000 m,下游侧为了和二级保护区陆域范围衔接,更好的保

护水源地,确定为从一级保护区水域边界向下游延伸长度为 770 m 的区域,二级保护区河道两侧的陆域范围以滹沱河防洪堤坝为界,不再向两侧延伸。

2.5 保护区定界及范围修正

为便于开展日常保护区环境管理工作,依据保

护区划分的结果,结合水源保护区的地形、地标、地物特点,对保护区范围进行修正,最终确定各级保护区的界线。该保护区划分方案可最大限度预防并减少周边污染源对水源地的负面影响,确保水源地的安全和稳定运行^[24]。最终得出王母水源地保护区范围(图 1)如下。

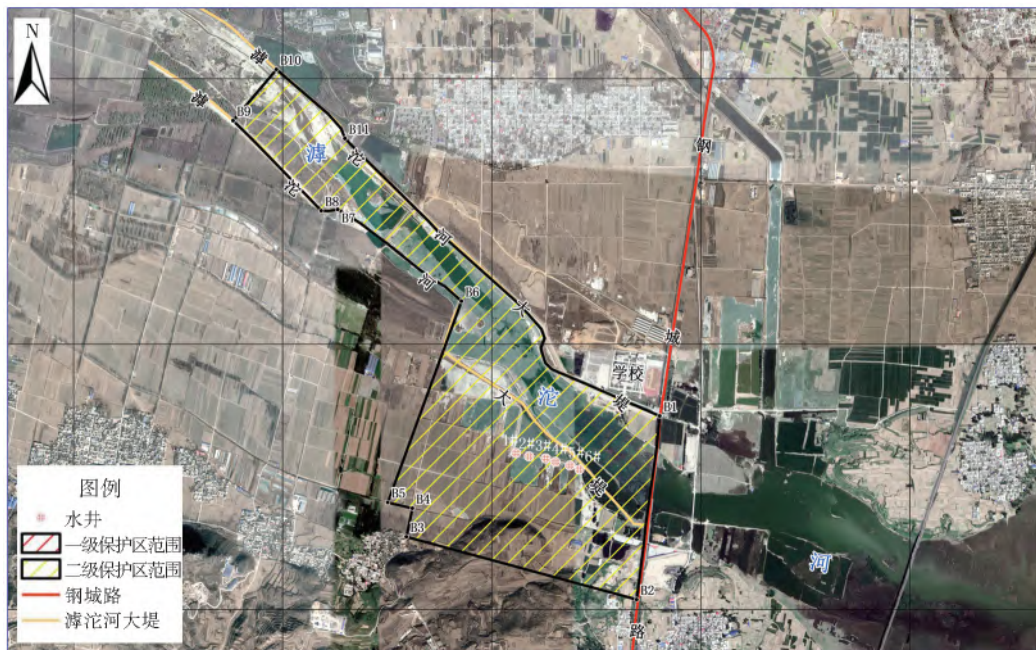


图 1 平山县王母水源地保护区范围

Fig. 1 Scope of the protection area of Wangmu water source in Pingshan County

一级保护区范围:陆域范围为 1 号井西侧向外径向延伸 66.5 m,1 号井和 6 号井连线南侧和北侧向外径向延伸 66.5 m,6 号井东南侧向外径向延伸 66.5 m,东北侧延伸至滹沱河南岸大堤所围成的多边形区域;水域范围为从 1 号井做垂直于滹沱河的垂线,向上游延伸 1 000 m,从 6 号井做垂直于滹沱河的垂线,向下游延伸 100 m 的河道范围。

二级保护区范围:陆域范围北侧以滹沱河南岸的大堤为界,东侧以钢城路为界,东南角以王母殿北侧为界,西南角以东小齐村北侧村路为界,西侧以田间路为界,围成的不规则的多边形区域。水域范围自一级保护区的上游边界向滹沱河上游延伸 2 000 m,下游侧的一级保护区边界向下游延伸 770 m,水域宽度为整个河道宽度。

3 结论

(1)由于傍河型地下水水源地与河流水力联系密切,河流周边及上游的污染源对水源地的影响较大,因此对水源地及附近河流的基础环境状况调查要充分考虑地下水和地表水的流向、流速,结合周边污染源的分布情况、污染物的迁移和扩散方式,准确

判定污染源类型和风险等级。

(2)傍河型地下水水源地类型的判断要充分考虑区域的水文地质特点,结合所傍河流的地貌特征及成因分析,综合利用成井结构图和水文地质剖面图等各种图件信息,准确判断傍河型地下水水源地的类型。

(3)选择傍河型地下水水源地保护区划分方法时,要充分考虑地下水与河流联系的紧密度以及地下水开采对河流水质水量的影响,采用经验公式法计算保护区半径并划分保护区陆域范围,采用类比经验法划分保护区水域范围,两种方法相结合的方式适用于与周边河流水力联系密切的潜水性傍河地下水水源地保护区的划分。应用经验公式法进行地下水水源地保护区半径计算时,采用抽水试验结果,应用潜水完整井参数计算公式进行计算,可得到较为准确的渗透系数值,若为井群取水,采用内插法的迭代运算可较为准确地计算出井群的水力坡度,最终计算出的保护区半径与经验值半径进行比较,可验证各参数取值是否合理。应用类比经验法划分保护区水域范围时,需要考虑河流周边及上游污染源的分布、风险源的大小、河流水质等因素对保护区范

围大小的影响。

(4)傍河型地下水水源地保护区范围的定界要根据区域的地形地貌、污染源分布、地下水和地表水流向等实际情况,对由河流型水源和地下水型水源分别划分的保护区并集区域进行界线修正,为便于开展保护区的日常环境管理工作,尽可能利用具有明显标志的地物作为保护区的界线。

参考文献(References):

- [1] 邬容伟,雷颢,万金保,等.大型水库饮用水水源保护区划分:以老营盘水库为例[J].中国农村水利水电,2018(11):131-134,138. (WU R W, LEI J, WAN J B, et al. Division of drinking water source protection areas of large reservoirs: Taking Laoyingpan reservoir as an example[J]. China Rural Water Conservancy and Hydro-power, 2018(11): 131-134, 138. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1007-2284.2018.11.026.
- [2] 王丽娟,张翼龙,李政红,等.地下水水源地保护区划分发展历程及方案、方法研究[J].环境科学与管理,2014,39(11):18-22. (WANG L J, ZHANG Y L, LI Z H, et al. Research on the development process, scheme and method of the division of groundwater source protection zone[J]. Environmental Science and Management, 2014, 39(11): 18-22. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1673-1212.2014.11.006.
- [3] RODAK C, SILLIMAN S. Probabilistic risk analysis and fault trees: Initial discussion of application to identification of risk at a wellhead[J]. Advances in Water Resources, 2012, 36: 133-145.
- [4] 邹敏.地表水监测技术及相关问题思考[J].中国资源综合利用,2019,37(3):127-129. (ZOU M. Analysis on surface water monitoring technology and related issues [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2019, 37(3): 127-129. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1008-9500.2019.03.039.
- [5] 昌盛,付青.《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ 338—2018)解读[J].环境保护,2018,46(13):18-22. (CHANG S, FU Q. Interpretation of *Technical Guideline for Delineating Source Water Protection Areas* (HJ 338—2018) [J]. Environmental Protection, 2018, 46(13): 18-22. (in Chinese))
- [6] 孙威.水污染防治法律问题研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2018. (SUN W. Research on legal issues of water pollution prevention[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2018. (in Chinese))
- [7] 谢琼,付青,昌盛,等.城市饮用水水源规范化管理机制及其对水质改善的驱动作用[J].西北大学学报(自然科学版),2020,50(1):68-74. (XIE Q, FU Q, CHANG

S, et al. Standardized management mechanism of urban drinking water source and its driving effect on water quality improvement[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2020, 50(1): 68-74. (in Chinese)) DOI: 10.16152/j.cnki.xdxzbzr.2020-01-009.

- [8] 王琳,曾焱.傍河取水型地下水水源地特点及其保护措施研究[J].环球人文地理,2016(2):111-112. (WANG L, ZENG Y. The research on the characteristics and protection measures of riverside source field[J]. Global Human Geography, 2016(2): 111-112. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.2095-0446.2016.02.077.
- [9] 中华人民共和国环境保护部.饮用水水源保护区划分技术规范:HJ 338—2018[S].北京:中国环境科学出版社,2018. (Ministry of Environmental Protection of The People's Republic of China. Technical guideline for delineating source water protection area; HJ 338—2018 [S]. Beijing: China environmental science press, 2018. (in Chinese))
- [10] 廖资生,林学钰,石钦周,等.黄河下游傍河开采地下水的试验研究:以郑州北郊黄河滩地为例[J].中国科学(E辑):技术科学,2004,34(SI):13-22. (LIAO Z S, LIN X Y, SHI Q Z, et al. Study on groundwater exploitation in riverside along lower reaches of the Yellow River: A case study of Beijiao source field of Zhengzhou City [J]. Science in China (Series E): Technological sciences, 2004, 34(SI): 13-22. (in Chinese))
- [11] 戴长雷,迟宝明,陈鸿雁.傍河型地下水水源地论证[J].工程勘察,2005(2):26-32. (DAI C L, CHI B M, CHEN H Y. Demonstration of riverfront groundwater source area [J]. Engineering Investigation, 2005(2): 26-32. (in Chinese))
- [12] 高淑琴,戴长雷,邓国立.高寒地区傍河型地下水水源地论证[J].水文,2008,28(2):30-33. (GAO S Q, DAI C L, DENG G L. Demonstration of riverfront groundwater source area in alpine region [J]. Journal of China Hydrologic, 2008, 28(2): 30-33. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1000-0852.2008.02.008.
- [13] 赵云章,邵景力,闫震鹏,等.黄河水对两侧地下水补给范围的初步研究[J].人民黄河,2003,25(1):3-5. (ZHAO Y Z, SHAO J L, YAN Z P, et al. Study of the recharge range of the Yellow River on both sides of the groundwater [J]. Yellow River, 2003, 25(1): 3-5. (in Chinese)) DOI:10.3969/j.issn.1000-1379.2003.01.002.
- [14] 王婉丽,崔亚莉,蔺文静,等.地下水应急开采对郑州市傍河水源地的影响[J].水文地质工程地质,2013,40(3):28-32. (WANG W L, CUI Y L, LIN W J, et

- al. Impact of groundwater emergency exploitation on the riverside well fields near Zhengzhou[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2013, 40(3): 28-32. (in Chinese) DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.2013.03.024.
- [15] 陈昊. 泗河冲积扇前缘孔隙地下水水源地保护区划分研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018. (CHEN H. Study on the division of the protection area of the pore groundwater source in the front edge of the alluvial fan of Sihe River[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2018. (in Chinese))
- [16] 王涵, 刘琦, 张翼龙, 等. 数值模拟法划分地下饮用水水源保护区: 以内蒙古呼和浩特市城市水源地为例[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(6): 23-30. (WANG H, LIU Q, ZHANG Y L, et al. Numerical simulation method for the division of underground drinking water source protection areas: A case study of urban water source in Hohhot, Inner Mongolia[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2018, 45(6): 23-30. (in Chinese) DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.2018.06.04.
- [17] 黄栋, 周瑞静, 陈瑾, 等. 数值模拟法在地下水水源地保护区划分中的应用[J]. 城市地质, 2016, 11(3): 74-78. (HUANG D, ZHOU R J, CHEN J, et al. Application of numerical simulation method in the protection area division of groundwater sources[J]. Urban Geology, 2016, 11(3): 74-78. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1007-1903.2016.03.014.
- [18] 田杰, 金鑫, 贺缠生. 基于 MODFLOW 的山区地下水径流数值模拟[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, 50(3): 324-332. (TIAN J, JIN X, HE C S. Numerical simulation of groundwater runoff in mountain area based on MODFLOW[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Science Edition), 2014, 50(3): 324-332. (in Chinese) DOI: 10.13885/j.issn.0455-2059.2014.03.006.)
- [19] 张一范, 成文举, 于颖, 等. 济南市羊里水源地保护区划分方法探讨[J]. 地下水, 2020, 42(2): 20-22. (ZHANG Y F, CHENG W J, YU Y, et al. Discussion on the division method of Yangli water source protection area in Jinan[J]. Ground Water, 2020, 42(2): 20-22. (in Chinese) DOI: 10.19807/j.cnki.DXS.2020-02-006.
- [20] 齐冬香. “大西柏坡”红色旅游可持续发展策略研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2012. (QI D X. Research on the sustainable development strategy of "Daxibaipo" red tourism[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2012. (in Chinese))
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 地下水质量标准: GB/T 14848—2017[S]. 北京: 2017. (General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine (AQSIQ), Standardization Administration of China. Quality standard for ground water: GB/T 14848—2017[S]. Beijing: 2017. (in Chinese))
- [22] 杨梅. 凤台县河流型饮用水水源地保护区划分研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2015. (YANG M. Study on partition of river water source protection zones of Fengtai county[D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2015. (in Chinese))
- [23] 中华人民共和国国家环境保护总局, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准: GB 3838—2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. (Ministry of Environmental Protection of The People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine (AQSIQ). Surface water environmental quality standards: GB 3838—2002[S]. Beijing: China environmental science press, 2002. (in Chinese))
- [24] 陈学林, 胡兴林, 王双合, 等. 地下水饮用水水源地保护区划分关键技术研究[J]. 水文, 2013, 33(6): 68-71. (CHEN X L, HU X L, WANG S H, et al. Research on the key technologies for the protection of groundwater drinking water source areas[J]. Hydrology, 2013, 33(6): 68-71. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-0852.2013.06.014.

Division method and example of riverside groundwater source protection area

WANG Jia¹, RONG Hailiang², XUE Yu³, SONG Baoping¹, WANG Zepeng¹, ZHANG Suzhen¹

(Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China; Shijiazhuang University of Applied Technology, Shijiazhuang 050081, China; Hebei Shijin Irrigation District Affairs Center, Shijiazhuang 050000, China; Zhongyan Technology Co., Ltd., Beijing 100041, China)

Abstract: The riverside groundwater source area has both river and groundwater characteristics. Due to the particularity of its location and the complexity of recharge conditions, it is difficult to divide the protection area. In 2018, the Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China issued the *Technical Specification for the Division of Drinking Water Source Protection Zones* (HJ 338—2018), the regulation only stipulates that the boundary of the protected area should be divided according to the source of river water and the source of groundwater, both of them should be combined as the final boundary

of the protected area. Operability does not provide a method and procedure for the classification of riverfront groundwater sources because of their special characteristics.

To accurately determine the type of water source area, the land area of the protected area is calculated by empirical formula, and the results of pumping test are used to calculate the parameters of a complete well of phreatic water. The hydraulic gradient of group well is calculated accurately by the iterative operation of the interpolation method. The radius of the protected area is finally calculated with the radius of the empirical value. The analogy and empirical method are used to divide the water area of the protected area, taking into account the surrounding river and the influence of factors such as the distribution of upstream pollution sources, the size of risk sources, and river water quality on the size of the protected area. Finally, the scope of the protected area is revised according to the surrounding terrain and ground conditions.

The type of Wangmu water source area is medium and small-sized pore phreatic water source area. The lithology of the phreatic water aquifer is mainly medium-coarse sand. The radius of the land area of the first-class protection area is 66.5 m and that of the second-class protection area is 665.0 m. The water area of the first-class protected area divided by analogy and is extended to 1 000 m to the upper reaches and 100 m to the lower reaches of the Hutuo River. The water area of the second-class protected area extends 2 000 m to the upper reaches of the Hutuo River and 770 m to the lower reaches of the first-class protected area.

Conclusions (1) The investigation of the basic environmental conditions of the riverside groundwater sources and the nearby rivers is an important prerequisite for the division of the protection zones, and the flow direction and velocity of groundwater and surface water should be fully considered, according to the distribution of pollution sources, the migration and diffusion of pollutants, the pollution source type and risk grade can be determined accurately. (2) Taking into full account the hydrogeological characteristics of the region, combining with the geomorphological features and genetic analysis of the rivers near the region, comprehensively utilizing the information of well structure map and hydrogeological section map, etc., accurately judging the type of riverfront groundwater source area. (3) When choosing the method of the protection zone division of riverfront groundwater source area, the relationship between groundwater and river and the influence of groundwater exploitation on the quality and quantity of river water are fully considered. The radius of the protected area is calculated by the empirical formula method and the land area is divided, and the water area is divided by the analogy empirical method, the combination of the two methods is suitable for the division of the groundwater source protection area near the river, which is closely connected with the surrounding rivers. (4) The definition of the scope of the riverside groundwater source protection area should be based on the actual situation of the topography and topography of the area, the distribution of pollution sources, the flow direction of groundwater and surface water, etc., to facilitate the daily environmental management of the protected area, the boundary of the union area divided by the river-type water source and the groundwater-type water source is revised, wherever possible, clearly marked features should be used as the boundary of the protected area.

Key words: riverside type; groundwater source area; protected area division; empirical formula method; analogy empirical method

(上接第 719 页)

Precipitation presents a low-medium-high distribution pattern from northwest-central-northeast. The area and frequency of droughts are the highest in spring, and the high frequency area of summer drought is located in Tangshan in Zhangjiakou, the frequency of drought is the lowest in autumn, and light drought is dominant in winter. The correlation between vegetation NDVI and SPEI is strongest in summer (0.529), followed by spring and autumn, and relatively weak in winter. The central area of Yuxian Station, Zhangbei Station and Chengde Station are mainly negatively correlated, and the positively correlated are mainly distributed in the central region.

Conclusions (1) The multi-scale SPEI (1/3/12) value of Hebei Province has a large range of changes, and the seasonal drought has obvious changes with phase characteristics, which mostly occur in spring, summer and winter. The annual scale SPEI judgment shows that the drought is serious and has a large deviation "Hebei Meteorological Bulletin". The seasonal scale SPEI value shows the drought situation in Hebei Province is more reasonable, but there is a degree of deviation in some years. (2) The correlation between NDVI and SPEI on a seasonal scale, with the strongest correlation in summer, followed by spring and autumn, and the weakest in winter. On the annual scale, the correlation between vegetation NDVI and SPEI has obvious regional differences.

Key words: NDVI; vegetation cover; meteorological drought; response analysis; Hebei Province