

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.02.004

吐鲁番市浅层地下水功能区划分

唐 蕴,王 研,唐克旺

(中国水利水电科学研究院水资源研究所,北京 100038)

摘要: 为了对吐鲁番市地下水进行合理利用与保护管理,以全国地下水功能区划分技术大纲为基本依据,结合吐鲁番市的水循环特点、水文地质条件、地下水开发利用现状及生态环境保护需求,确定了地下水各功能区的划分依据,将吐鲁番市浅层地下水划分为开发区、保护区和保留区 3 类地下水一级功能区,根据地下水主导功能进一步划分为集中式供水水源区、分散式开发利用区、生态脆弱区、地下水水源涵养区、不宜开采区和储备区 6 类地下水二级功能区。对各二级功能区现状进行评价,表明分散式开发利用区超采情况较为严重,是未来地下水管理的重点对象。本着从严管理地下水功能区的原则,从水质、水量和水位 3 方面明确了各功能区的保护目标。最后从地下水开采总量控制、坎儿井保护、地下水监测体系完善与健全等方面提出了地下水功能区管理措施及相关建议。

关键词: 地下水;功能区划分;坎儿井;吐鲁番市

中图分类号: P641.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2017)02-0016-06

Functional division of shallow groundwater in Turpan City

TANG Yun, WANG Yan, TANG Kewang

(Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: This paper formulates the divisional basis of various groundwater functional areas for reasonable utilization, management, and conservation of groundwater in Turpan City. based on technical guidelines of China’ s nationwide division with consideration of water cycle, hydro-geological nature, groundwater exploitation situation, and eco-environmental conservation demands. Shallow groundwater is divided into the following three types of areas with first-class functions: the developing area, the conservation area, and reserve area. Six sub-class functional areas are further divided as follows: the centralized drinking water area, the distributed exploitation area, ecologically vulnerable area, groundwater conservation area, unavailable exploitation area, and reserve area. The situations of various sub-class functional areas are evaluated. The results indicate that the distributed exploitation area, which has been exploited excessively, should be a focus in future groundwater management. Based on the principle of strict management of groundwater functional areas, the targets of various functional areas are determined with water quality, water quantity, and water level taken into account. Management measures and suggestions are put forward in regard to total water quantity control, Karez conservation, and the improvement of groundwater monitoring system.

Key words: groundwater; functional division; Karez; Turpan City

地下水具有 3 种基本属性,即资源供给属性、生态属性、环境地质属性。对应这 3 种属性,地下水具有资源供给功能、生态环境保护功能、地质安全保障功能^[1-3]。由于不合理开采地下水引发的地面沉降、土地沙化、海水入侵、水质恶化等问题,基本都可以归结于地下水功能退化或丧失。因此,从地下水的属性功能角度出发,研究管理地下水对遏制生态环境地质问题的发生具有重要的现实意义。

基金项目:中国水利水电科学研究院“十三五”重点科研专项(WR0145B502016)
作者简介:唐蕴(1968—),女,教授级高级工程师,博士,主要从事水资源开发利用中的生态环境研究。E-mail: tangyun@iwhr.com

目前,尽管国外没有地下水功能区划分方面的研究报道,但在地下水资源保护中大多都充分考虑地下水在基流维持、地面稳定、河岸植被保护等方面的重要作用和功能,实质上,这也是一种基于地下水功能理念的管理。2000年前后,南非水务和林业部制定的地下水系统保护手册中,强调应重视地下水在水文系统中的很多重要作用,并且将水文地质类型分区作为地下水管理的基础平台^[4]。在美国地下水管理和保护中,同样遵循系统性的理念,在水文地质单元分区(美国全国共划分了25个主要水文地质单元)基础上,考虑地表水(基流)保护、生态系统保护、海水入侵预防、地面稳定性维持等。

国内开展地下水功能区划分始于21世纪初。开展这项工作的部门主要是水利部和国土资源部。2005年水利部下发了《地下水功能区划分技术大纲》(以下简称《大纲》),开展了全国范围内的地下水功能区划分工作。《大纲》明确了功能区划分体系、划分依据、功能区保护指标及目标确定原则等。2006年6月中国地质调查局印发了《地下水功能区评价与区划技术要求》(以下简称《技术要求》),规定了地下水功能评价工作的基本原则、主要工作内容、评价指标体系、评价方法与步骤等。自2004年以后,国内很多学者开展了地下水功能区方面的研究工作^[5-12],涉及理念探讨、区划体系、划分方法、评价指标等,总体而言,基本上代表了水利部和国土资源部两种不同的划分思路。

本文参照《大纲》,结合吐鲁番市的实际情况,适当调整了划分标准,得到吐鲁番市浅层地下水二级功能区划分结果。在划分过程中首先立足于内陆河地区“山区径流形成-中游径流利用-下游尾间湖泊径流耗散”水循环特点;其次,在划分中高度重视坎儿井水源的涵养保护,合理确定了坎儿井保护范围及划分标准。地下水功能区划分成果可为今后吐鲁番市地下水管理提供依据。

1 吐鲁番市概况

吐鲁番市位于新疆维吾尔自治区东部,东与哈密为邻,西、南与巴音郭楞蒙古自治州的和静、和硕、尉犁、若羌县毗连,北隔天山与乌鲁木齐市及昌吉回族自治州的奇台、吉木萨尔、木垒县相接,地处东经87°41′~91°54′,北纬41°12′~43°38′,南北长约240 km,东西宽约300 km。吐鲁番市下辖高昌区、鄯善县、托克逊县1区2县,土地总面积约7万 km²。

1.1 水文地质条件

受地质、地貌、地层、气象、水文等因素控制,吐鲁番盆地分为基岩山区、北盆地、南盆地3个水文地

质单元。基岩山区主要分布有碎屑岩裂隙水。北盆地沉积着数十米至1 000 m的第四系卵砾石、砂砾石、砂及少量黏土层,为地下水赋存提供了良好的空间。根据埋藏条件,北盆地可以细分2个亚区:①北盆地上、中部深埋潜水区。由自北向南倾斜的山前卵砾石、砂砾石组成的冲洪积扇构成,地形坡度大于0.4%。第四系沉积最厚在北盆地中部,西部煤窑沟以南最大厚度大于1 000 m,第四系沉积厚度均在100 m以上,赋存着十分丰富的潜水,水位埋深大于30 m,最深处大于200 m。②北盆地南缘绿洲带潜水、承压水、自流水区。该区位于火焰山北侧一线,由第四系冲洪积卵砾石、砂砾石、砂及黏性土层组成,沉积厚度50~100 m,储存着丰富的潜水和小面积自流水。南盆地是一个以艾丁湖为中心的封闭盆地,沉积着数十米厚的第四系卵砾石、砂砾石、砂和黏性土层,艾丁湖区沉积着湖相盐渍土和芒砂盐层。根据地下水赋存和分布规律,将南盆地地下水分为3个亚区:①伊拉湖、托克逊区。位于南盆地西部,三面环山,呈簸箕形。以粗颗粒为主的冲洪积物,沉积厚度100~500 m。该区有丰富的潜水、承压水和自流水,构成了南盆地地下水最富地段。②吐鲁番、三堡、鲁克沁区。该区为火焰山山前倾斜平原,地形由北向南,向艾丁湖倾斜。第四系沉积厚度200~700 m。由山前冲洪积扇顶部以卵砾石层为主,过渡到艾丁湖一带以黏性土层为主;地下水由单一的潜水过渡到承压水、自流水。③托克逊干沟以东却勒塔格山前倾斜平原区。该区呈东西条带状,地势由南向北倾斜。第四系沉积以坡洪积碎石为主,沉积厚度小于100 m。该区因缺少补给源,是南盆地地下水最贫区。

1.2 水资源及开发利用情况

吐鲁番市是一个相对封闭的内陆盆地,四面环山,中间低洼。特殊的地理地貌使得仅有极少量的温湿气流通过盆地西、北部山区形成降水,因此吐鲁番盆地西、北部的中高山区是水资源的主要形成区;平原区降水极少,对地表水、地下水的补给意义不大,是水资源的散发区。

吐鲁番市水资源总量为12.6亿 m³,其中,地表水资源量为10.6亿 m³(境内自产地表水资源量为6.6亿 m³,境外流入地表水资源量4.0亿 m³),地下水资源量为2.0亿 m³(不重复量)。水资源可利用量为12.26亿 m³,其中,地表水资源可利用量为6.32亿 m³,地下水资源可开采量为5.94亿 m³。

2012年全市总引水量为13.79亿 m³(不含221团)。按引水水源划分,地表水(河水、库水)引水量为4.37亿 m³,占31.7%;地下水(井水、泉水、

坎儿井)引水量为9.42 亿 m³,占68.3%。按用水类型划分,农业灌溉用水12.43 亿 m³,占90.12%;工业用水0.57 亿 m³,占4.13%;城镇生活用水0.29 亿 m³,占2.07%;生态与环境用水0.51 亿 m³,占3.68%。

地下水是吐鲁番市的主要供水水源,目前地下水超采量达3 亿 m³。由于过度开发利用,已经在高昌区、鄯善县、托克逊县形成了3 个地下水超采区,超采面积分别是295.6 km²、480.1 km²、67.5 km²,共计843.2 km²。地下水水位持续下降,2002—2011 年,年均地下水位下降速率分别是1.18~1.62 m、1.07~4.01 m、1.06 m。另外,由于地下水超量开采,导致坎儿井干涸的数量不断增加、流量不断减少。

2 地下水功能区划分体系及依据

2.1 划分体系

笔者依据《大纲》进行吐鲁番市地下水功能区划分。地下水功能区划分采用了两级划分体系。地下水一级功能区划分为:开发区、保护区、保留区3 类,主要协调经济社会发展用水和生态环境保护的关系,体现吐鲁番市对地下水资源合理开发利用和保护的总体部署。

在地下水一级功能区框架内,根据地下水资源的主导功能,划分为8 类地下水二级功能区,其中,开发区划分为集中式供水水源区和分散式开发利用区2 类二级功能区;保护区划分为生态脆弱区、地质灾害易发区和地下水水源涵养区3 类二级功能区;保留区划分为不宜开采区、储备区和应急水源区3 类二级功能区。地下水二级功能区主要协调各区县之间、用水部门之间和不同地下水功能之间的关系。

2.2 划分依据

地下水功能区的划分依据是在参照《大纲》基础上,结合吐鲁番市的水文地质条件、地下水资源及开发利用状况、未来地区水资源配置中对地下水的利用情况,以及地区生态环境问题及生态环境保护对地下水的需求情况。划分过程中具体考虑地下水资源模数、补给模数、开采模数、水源地规模、生态环境保护目标等具体指标。

a. 集中式供水水源区。《大纲》对集中式供水水源区界定为现状或规划期内供给生活饮用水或工业生产用水为主的地下水集中式供水水源地。《大纲》的划分条件是:地下水可开采量模数不小于10 万 m³/(a·km²),日开采量1 万 m³ 以上的水源地单独划出;对于生活用水,供水水质不低于《地下水质量标准》(GB/T14848—93)规定的Ⅲ类水的标准值,对于工业生产用水,供水水质符合工业生产的水

质要求。根据吐鲁番市目前的集中式水源地开采规模,本次将日开采在5 000 m³ 以上的集中式供水水源地单独划出。根据规划期地下水供水量和地下水可开采量模数划定集中式供水水源区的范围,以地下水汇水漏斗的外包线确定。

b. 分散式开发利用区。《大纲》对分散式开发利用区界定为现状或规划期内以分散的方式供给农村生活、农田灌溉的地下水赋存区域。《大纲》的划分条件是:补给条件良好,多年平均地下水可开采量模数不小于2 万 m³/(a·km²)。根据新疆地下水资源评价结果,吐鲁番盆地灌区多年平均总补给模数在20 万~40 万 m³/(a·km²),可开采模数在15 万~25 万 m³/(a·km²)。吐鲁番市灌区是地下水分散式开发利用的主要区域。

c. 生态脆弱区。《大纲》将生态脆弱区界定为有重要生态保护意义且生态系统对地下水变化十分敏感的区域,包括干旱半干旱地区的天然绿洲及其边缘地区、具有重要生态保护意义的自然保护区。吐鲁番市地处内陆干旱地区,年均降水量只有16 mm,生态条件极其脆弱,水资源的合理利用,特别是地下水的合理开发对地区的生态环境保护至关重要。天然情况下,盆地下游的艾丁湖是本地区所有水资源的汇集地和水量耗散地,近10 多年来,由于盆地上游水资源利用量增加,特别是机井开采量的剧烈增加,使得主要依赖地下水维持的艾丁湖湖水日渐减少,近年已经基本干涸。湖盆周边植被退化,土地沙化、荒漠化问题应引起重视。笔者认为首先应在艾丁湖周边划分一定面积的生态脆弱区;其次,为了保护人工绿洲,应该在人工绿洲外侧维持一定规模的天然绿洲。

d. 地下水水源涵养区。《大纲》对地下水水源涵养区界定为为了保持重要泉水一定的喷涌流量或为了涵养水源而限制地下水开采的区域。划分条件之一:有重要生态意义且必须保证一定的生态基流的河流或河段的滨河地区。吐鲁番市的河流基本上都形成于北部天山山脉,山丘区是本地区地表径流和地下水的发源地,如高昌区的重要供水水源地中,一碗泉集中式供水水源地属于泉水利用型水源地,红星渠首供水水源地属于截潜流型供水水源地,因此,从泉水补给和河道基流保护角度而言,山丘区应划分为地下水水源涵养区。划分条件之二:坎儿井是我国干旱区独特的水利工程,具有重要的物质文化遗产价值,应加以重点保护。吐鲁番市现有坎儿井1091 条,有水坎儿井404 条,干涸坎儿井687 条。有水坎儿井中最大流量为244.9 m³/s,最小流量为0.2 m³/s,总出水量为7353.91 m³/s。根据吐鲁番市

坎儿井分布及出水量现状,结合未来吐鲁番市坎儿井上游规划水利工程分布,确定坎儿井保护的原则是:对目前出水流量大于 50 m³/s 的坎儿井进行保护;对已经规划了水利工程的河流下游坎儿井酌情进行保护。目前由于南盆地的地下水开采程度较高,地下水水位在短期难以恢复,因此,应以北盆地中的坎儿井为主要保护对象。具体保护范围为坎儿井第一眼竖井上下游一定范围内的区域。

e. 地质灾害易发区。《大纲》将地质灾害易发区界定为地下水水位下降后,容易引起海水入侵、咸水入侵、地面塌陷、地下水污染等灾害的区域。从目前掌握的资料看,没有发现因为地下水开发利用而产生各方面的环境地质问题,因此,在吐鲁番市不划分地质灾害易发区。

f. 不宜开采区。《大纲》对不宜开采区界定为由于地下水开采条件差或水质无法满足使用要求,现状或规划期内不具备开发利用条件或开发利用条件较差的区域。划分条件是,多年平均地下水可开采量模数小于 2 万 m³/(a·km²),地下水矿化度大于 2g/L。吐鲁番盆地南部的沙漠地区地下水资源量很小,不具备开发利用条件,可以划分为不宜开采区。另外,绿洲与绿洲之间的水资源可利用量很少,不具备开发利用条件。

g. 储备区。《大纲》将储备区界定为有一定的开发利用条件和开发潜力,但在当前和规划期内尚

无较大规模开发利用活动的区域。划分条件是,地下水赋存和开采条件较好,当前及规划期内人类活动很少、尚无或仅有小规模地下水开采的区域;地下水赋存和开采条件较好,当前及规划期内,当地地表水能够满足用水的需求,无需开采地下水的区域。

h. 应急水源区。《大纲》将应急水源区界定为地下水赋存、开采及水质条件较好,一般情况禁止开采,仅在突发事件或特殊干旱时期应急供水的区域。

3 地下水功能区划分成果

3.1 功能区面积及分布

根据前述划分依据对吐鲁番市浅层地下水进行二级功能区划分,划分面积 72973 km²。一级功能区划分各区面积分别是:开发区 2 251 km²、保护区 25 460 km²、保留区 45 262 km²,相应面积比例分别是 3.08%、34.89%、62.02%。划分结果见图 1、表 1 和表 2。

集中式供水水源区 10 个,面积 18 km²,占总区划面积的 0.02%。10 个集中式供水水源区分别是:

表 1 吐鲁番市地下水二级功能区数 个							
县级行政区	开发区		保护区		保留区		总计
	集中式供水水源区	分散式开发利用区	生态脆弱区	地下水水源涵养区	不宜开采区	储备区	
高昌区	4	2	3	3	3	1	16
鄯善县	1	2	3	2	2	1	11
托克逊县	5	1	2	4	2	1	15
总计	10	5	8	9	7	3	42

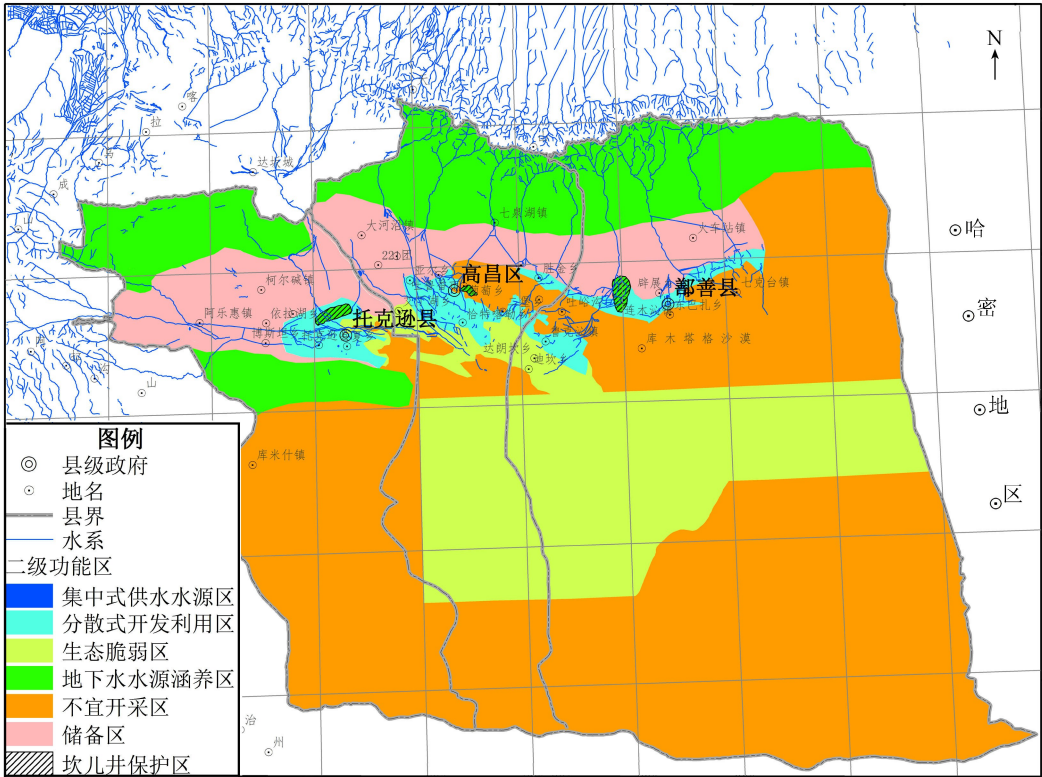


图 1 吐鲁番市地下水二级功能区划分

表 2 吐鲁番市地下水二级功能区面积

县级行政区名称	开发区/km ²		保护区/km ²		保留区/km ²		总计/km ²
	集中式供水水源区	分散式开发利用区	生态脆弱区	地下水水源涵养区	不宜开采区	储备区	
高昌区	10	823	5 199	3 617	4 910	2 424	16 983
鄯善县	1	785	8 775	3 978	24 929	1 859	40 328
托克逊县	6	625	234	3 657	8 451	2 689	15 662
总计	18	2 233	14 208	11 252	38 290	6 972	72 973
比例/%	0. 02	3. 06	19. 47	15. 42	52. 47	9. 55	100

高昌区一碗泉生活饮用集中式供水水源地、高昌区红星渠首生活饮用集中式供水水源地、高昌区沈宏集团小阴沟水源地、鄯善县第一自来水公司水源地、托克逊县华电公司水源地、托克逊县圣雄公司水源地、托克逊县工业园区水源地、托克逊县欣叶公司水源地、托克逊县雪银公司水源地以及即将通水的高昌区大草湖水源地。

分散式开发利用区 5 个,面积 2 233 km², 占总区划面积的 3. 06%。分散式开发利用区基本上沿灌区分布,主要分布在盆地中部的火焰山——盐山两侧,即北盆地和南盆地,并且以南盆地为主要开发区。开采井外边线基本与灌区分布一致。

生态脆弱区 8 个,面积 14 208 km², 占总区划面积的 19. 47%。生态脆弱区主要分布在吐鲁番盆地下游的艾丁湖周边区域。在艾丁湖周围分布有“罗布泊野骆驼国家级自然保护区”,在艾丁湖以南的区域是库木塔格沙漠,主要植被是骆驼刺。生态脆弱区还分布在人工绿洲与戈壁滩地之间,一定规模的天然绿洲对人工绿洲具有防护作用。

地下水水源涵养区 9 个,面积 11 252 km², 占总区划面积的 15. 42%。地下水水源涵养区主要分布于吐鲁番盆地北部的天山山脉区,山丘区起到对本地区地表水和地下水维系和涵养作用。根据坎儿井保护原则,需要保护的坎儿井主要位于北盆地,划定吐鲁番市坎儿井保护区范围约 167. 07 km²。

不宜开采区 7 个,面积 38 290 km², 占总区划面积的 52. 47%。不宜开采区分布范围较广,主要分布于吐鲁番盆地南部的库木塔格沙漠区。另外,不宜开采区分布于各灌区之间的区域,这些地区可利用的水资源量很少,不具备开发利用条件。

储备区 3 个,面积 6 972 km², 占总区划面积的 9. 55%。储备区主要分布于天山山脉山前戈壁带,这些地区地下水目前开发利用较少,水量较为丰沛。

3.2 功能区现状评价

吐鲁番市地下水功能区总补给量为 11. 98 亿 m³, 可开采量 5. 43 亿 m³, 现状年实际开采量为 7. 79 亿 m³ (采用 2010—2014 年近 5 的平均值), 超采量约为

3. 18 亿 m³。超采量严重的功能区是分散式开发利用区,该功能区的超采量占总超采量的 91%。其余有 9% 的超采分布在生态脆弱区 and 不宜开采区。

目前,吐鲁番盆地的主要开采形式是分散式开采,地下水开采井遍布在几乎所有的乡镇,绿洲区基本上都是超采区。可见,未来地下水管理的重点地区应该是绿洲区,应控制开采井数及开采量。

表 3 吐鲁番市地下水二级功能区开发利用现状

二级功能区	面积/km ²	补给量/万 m ³	可开采量/万 m ³	实际开采量/万 m ³	超采量/万 m ³
集中式供水水源区	18	6 383	3 843	2 108	0
分散式开发利用区	2 233	61 832	41 740	65 435	28 786
生态脆弱区	14 208	6 558	4 379	5 839	1 459
地下水水源涵养区	11 252	42 337	2 751	1 447	3
不宜开采区	38 290	2 420	1 480	3 033	1 553
储备区	6 972	217	90	20	0
总 计	72 973	119 748	54 284	77 882	31 801

3.3 功能区管理目标及措施

地下水功能区保护目标是指各功能区在规划期内能够正常发挥其各项供水和生态与环境功能时应该达到的目标要求。地下水功能区的保护指标包括地下水水质、地下水开采量和地下水水位 3 类。地下水是脆弱的系统,一旦遭到破坏就很难修复,因此在制定分区目标时要特别强调对地下水的保护,从严制定控制目标,保障地下水的各项功能的正常使用。原则上,对目前实际情况好于其功能标准要求的,分区地下水保护的目标标准不应低于现状;对于目前已经处于临界边缘的,要加大保护力度,防止出现影响其功能发挥的恶化趋势;对于各功能区目前由于超采和污染等原因导致地下水功能不能正常发挥的地区,要考虑需要与可能,分别提出修复治理目标。

根据功能区管理目标制定原则,确定吐鲁番市各地下水二级功能区的保护目标。①集中式供水水源区。水质保护标准均维持现状 I ~ II 类水质类别;水量保护标准是不大于可开采量 2 945 万 m³;多年平均情况下水位呈动态平衡,保持现状平均水位即可。②分散式开发利用区。水质保护标准均维持现状 II ~ III 类水质类别;水量保护目标是对现状已经超采的 4 个分散式开发利用区应压减开采到各自的可开采量;如果要达到采补平衡,分散式开发利用区的地下水水位应比现状上升 10 ~ 20 m。考虑到高昌区和鄯善县的水资源紧缺程度,酌情确定在近 5 年内水位维持现状。③生态脆弱区。水质目标维持现状 III 类水质类别;目前在灌区周边的生态脆弱区有超采现象,应控制该功能区的开采量,防止绿洲荒漠化;水位应保持在现状基础略有回升。④地下水水源涵养区。应禁止在山区开矿,防止由于地表污染引起的地下水污染,以及由于矿山排水引起的泉水

水源补给量减少,其水质、水量、水位保护指标维持现状。⑤不宜开采区。不宜开采区基本上是荒漠区和灌区之间的戈壁,人类活动较少,其水质、水量、水位维持现状。⑥储备区。储备区分布在山前戈壁地带,目前开发利用较少,其水质、水量、水位基本维持现状。

笔者认为,为了保证今后按照地下水功能区进行管理,应采取以下措施:①严格控制超采区开采量。目前高昌区和鄯善县划分的分散式开发利用区中地下水超采较为严重,应控制这些地区的地下水开采,实行总量控制。②切实落实坎儿井保护。坎儿井是我国干旱区独特的水利工程,具有极高的文化保护价值。坎儿井保护核心是水源问题,应严格控制坎儿井保护区范围内的地下水开采量,以利于坎儿井水源的涵养与保护。③完善和健全地下水监测网络。根据地下水功能区水量、水质、水位3个方面监督考核的需要,补充地下水水质检测,特别是水源地的水质监测,制定地下水监测规划,完善地下水监测网络体系。

4 结论及建议

按照水利部《地下水功能区划分技术大纲》具体要求,结合吐鲁番市实际情况,对吐鲁番市 72 973 km² 范围内浅层地下水进行了功能区划分,得到如下结论:①地下水一级功能区中开发区、保护区、保留区的面积比分别是 3. 08%、34. 89%、62. 02%。②地下水二级功能区中集中式供水水源区、分散式开发利用区、生态脆弱区、地下水水源涵养区、不宜开采区、储备区的划分个数分别是 10 个、5 个、8 个、9 个、7 个、3 个,面积比分别是 0. 02%、3. 06%、19. 47%、15. 42%、52. 47%、9. 55%。③现状年地下水功能区地下水超采约 3. 18 亿 m³,其中分散式开发利用区占总超采量的 91%,其余有 9% 超采分布在生态脆弱区和不宜开采区。④地下水二级功能区的水质、水量和水位管理目标均应不低于现状,对于目前超采较为严重的分散式开发利用区应进行水量与水位双控。

地下水功能区划分是一项全新的工作,国家还没有正式出台相关的技术标准和规范,这给地下水功能区划分工作造成较大困难和不确定性。因此,建议对本次研究确定的吐鲁番市地下水功能区划分方案试行一定时期,评定划分成果的合理性,以便修改完善划分方案,同时,也为地下水功能区划分技术标准的出台提供一定借鉴。

参考文献:

[1] 林学钰,廖资生. 地下水资源的本质属性、功能及开展

水文地质学研究的意义[J]. 天津大学学报(社会科学版),2004,6(3):193-195. (LIN Xueyu, LIAO Zisheng. Essential attributes and functions of groundwater and the significance of hydrogeology studies[J]. Journal of Tianjin University (Social Sciences), 2004, 6(3): 193-195. (in Chinese))

[2] 张人权. 地下水资源特性及其合理开发利用[J]. 水文地质工程地质,2003,30(6):1-5. (ZHANG Renquan. Characteristics of groundwater resources and their reasonable development[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2003, 30(6): 1-5. (in Chinese))

[3] 唐克旺,杜强. 地下水功能区划分浅谈[J]. 水资源保护,2004,20(5):16-19. (TANG Kewang, DU Qiang. Discussion on groundwater function zoning[J]. Water Resources Protection, 2004, 20(5): 16-19. (in Chinese))

[4] PARSONS R. Resource directed measures for protection of water resources: groundwater component[EB/OL]. [1999-09-24]. <http://www.docin.com/p-1701228027.html>.

[5] 唐克旺,唐蕴,李原园,等. 地下水功能区划体系及其应用[J]. 水利学报,2012,43(11):1349-1356. (TANG Kewang, TANG Yun, LI Yuanyuan, et al. Technical system of functional division for groundwater and its application[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(11): 1349-1356. (in Chinese))

[6] 张光辉,杨丽芝,聂振龙,等. 华北平原地下水的功能特征与功能评价[J]. 资源科学,2009,31(3):268-374. (ZHANG Guanghui, YANG Lizhi, NIE Zhenlong, et al. Property and assessment of groundwater function in North China Plain[J]. Resources Science, 2009, 31(3): 268-374. (in Chinese))

[7] 闫成云,聂振龙,张光辉,等. 疏勒河流域中下游盆地地下水功能区划[J]. 水文地质工程地质,2007,34(4):79-83. (YAN Chengyun, NIE Zhenlong, ZHANG Guanghui, et al. Groundwater function zoning in the middle and lower reaches of the Shulehe River Basin[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2007, 34(4): 79-83. (in Chinese))

[8] 吕红,杜占德,王健. 山东省地下水功能区划初探[J]. 水文,2007,27(3):75-77. (LYU Hong, DU Zhande, WANG Jian. Discussion on functional demarcation of groundwater in Shandong Province[J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27(3): 75-77. (in Chinese))

[9] 杜金龙,靳孟贵,罗育池,等. 浅层地下水功能评价指标体系:以河南省平原岗区为例[J]. 水资源保护,2007,23(6):89-92. (DU Jinlong, JIN Menggui, LUO Yuchi, et al. Assessment index system for shallow groundwater function: a case study on the plain and hummock of Henan Province[J]. Water Resources Protection, 2007, 23(6): 89-92. (in Chinese)) (下转第 78 页)

绞刀,采用加装防扩散装置的螺旋绞刀疏浚,对底泥中污染物释放的抑制效果最佳,为理想的 CSD 环保功能改造方案。

参考文献:

[1] MANAP N, VOULVOULIS N. Environmental management for dredging sediments: the requirement of developing nations [J]. Journal of Environmental Management, 2015, 147: 338-348.

[2] PAZOS M, IGLESIAS O, GÓMEZ J, et al. Remediation of contaminated marine sediment using electrokinetic-Fenton technology [J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2013, 19(3): 932-937.

[3] WANG L, YUAN X, ZHONG H, et al. Release behavior of heavy metals during treatment of dredged sediment by microwave-assisted hydrogen peroxide oxidation [J]. Chemical Engineering Journal, 2014, 258: 334-340.

[4] BATES M E, FOX-LENT C, SEYMOUR L, et al. Life cycle assessment for dredged sediment placement strategies [J]. Science of the Total Environment, 2015, 511: 309-318.

[5] GHOSH U, ZIMMERMAN J R, LUTHY R G. PCB and PAH speciation among particle types in contaminated harbor sediments and effects on PAH bioavailability [J]. Environmental Science & Technology, 2003, 37 (10): 2209-2217.

[6] PALM A, COUSINS I, GUATAFSSON Ö, et al. Evaluation of sequentially-coupled POP fluxes estimated from simultaneous measurements in multiple compartments of an air-water-sediment system [J]. Environmental Pollution, 2004, 128(1): 85-97.

[7] GARRETT R G. Natural sources of metals to the environment [J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2000, 6(6): 945-963.

[8] BURTON Jr G A. Sediment quality criteria in use around

the world [J]. Limnology, 2002, 3(2): 65-76.

[9] RULEY J E, RUSCH K A. An assessment of long-term post-restoration water quality trends in a shallow, subtropical, urban hypereutrophic lake [J]. Ecological Engineering, 2002, 19(4): 265-280.

[10] 王松, 王立彤, 魏新庆. 汉沽污水库底泥的环保疏浚试验工程设计[J]. 中国给水排水, 2011, 27(4): 54-57. (WANG Song, WANG Litong, WEI Xinqing. Design of environment-friendly dredging project of sediments in Hangu Sewage Reservoir [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(4): 54-57. (in Chinese))

[11] CAPELLO M, CUTRONEO L, FERRANTI M P, et al. Mathematical simulation of the suspended solids diffusion during dredging operations on the continental shelf off the coast of Lazio (Central Tyrrhenian Sea, Italy) [J]. Ocean Engineering, 2013, 72: 140-148.

[12] HOSSAIN S, EYRE B D, MCKEE L J. Impacts of dredging on dry season suspended sediment concentration in the Brisbane River estuary, Queensland, Australia [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2004, 61 (3): 539-545.

[13] 颜昌宙, 范成新, 杨建华, 等. 湖泊底泥环保疏浚技术研究展望[J]. 环境污染与防治, 2004, 26(3): 189-192. (YAN Changzhou, FANG Chengxin, YANG Jianhua, et al. Prospect of environment-friendly dredging technologies applied in lake dredging [J]. Environmental Pollution and Control, 2004, 26 (3): 189-192. (in Chinese))

[14] 张绍华, 蒋昌波, 陈杰, 等. 挖泥船疏浚施工引起的悬浮物扩散现场观测研究[J]. 泥沙研究, 2014 (4): 44-48. (ZHANG Shaohua, JIANG Changbo, CHEN Jie, et al. Field observation and study of turbidity plume induced by dredger [J]. Journal of Sediment Research, 2014(4): 44-48. (in Chinese))

(收稿日期:2016-05-16 编辑:徐 娟)

(上接第 21 页)

[10] 曹阳, 滕彦国, 王金生, 等. 泉州市地下水功能区划分 [J]. 地球学报, 2011(4): 469-476. (CAO Yang, TENG Yanguo, WANG Jinsheng, et al. The division of groundwater function zones in Quanzhou [J]. Acta Geosciences Sinica, 2011(4): 469-476. (in Chinese))

[11] 胡琪坤, 李发文, 冯平. 基于类型特征的天津市地下水功能区划分 [J]. 水利水电技术, 2013(9): 4-7. (HU Qikun, LI Fawen, FENG Ping. Type-character based groundwater functional zoning in Tianjin [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2013(9): 4-7.

(in Chinese))

[12] 高爽, 唐蕴, 王海玲, 等. 内蒙松辽流域地下水功能区划分研究 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2015, 13 (2): 117-123. (GAO Shuang, TANG Yun, WANG Hailing, et al. Research on groundwater functional division in Songliao River Basin of Inner Mongolia [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2015, 13 (2): 117-123. (in Chinese))

(收稿日期:2016-07-27 编辑:彭桃英)