

doi: 10.12029/gc20220722001

于慧明, 郭晓东, 王晓光, 李文鹏, 李春燕, 耿欣. 2023. 松辽流域地下水资源评价区划分研究[J]. 中国地质, 50(4): 1016–1031.
Yu Huiming, Guo Xiaodong, Wang Xiaoguang, Li Wenpeng, Li Chunyan, Geng Xin. 2023. A division study of the groundwater resources evaluation area in the Songliao River Basin[J]. Geology in China, 50(4): 1016–1031 (in Chinese with English abstract).

松辽流域地下水资源评价区划分研究

于慧明¹, 郭晓东¹, 王晓光¹, 李文鹏², 李春燕², 耿欣³

(1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 3. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051)

摘要:【研究目的】地下水资源评价对地下水资源可持续利用管理和生态环境保护具有重要意义, 地下水资源区划分是地下水资源评价的基础和关键。【研究方法】本文依托松辽流域水文地质调查工程, 以水循环和地下水系统理论为指导, 根据地下水的补给、径流、排泄特征和储存特征, 采用水文地质特征与地表水流域相结合的方法, 将松辽流域地下水资源区进行了重新划分。【研究结果】松辽流域由整体到局部, 共划分为 4 个级别, 其中一级区 2 个, 二级区 6 个, 三级区 17 个, 四级区 56 个。一级区以地表水一级流域划分为松花江和辽河流域; 二级区以大型平原(盆地)为中心, 包含周边山区补给区进行划分, 以此形成完整的地下水补径排系统; 三级区将分别划分平原(盆地)和其周边山区补给区; 四级区将山区按地表水四级流域划分, 松嫩平原和辽河平原按地表水二级流域进行划分, 三江平原和海拉尔盆地保持独立分区不再细分。【结论】松辽流域地下水资源区新划分方案, 有效兼顾了地表水流域和地下水系统, 完整地反映了地下水形成演化过程, 是地下水系统理论的成功应用, 为新一轮地下水资源评价提供了科学依据。

关键词: 松辽流域; 水文地质调查工程; 地下水资源; 评价区划分; 地下水系统

创新点: 提出了以大型平原(盆地)为中心, 包含周边山区补给区, 形成完整的地下水流补径排系统的新的分区划分方法。对松辽流域地下水资源区进行了统一划分, 将三轮地下水资源评价分区进行对比。

中图分类号: P641.8 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2023)04-1016-16

A division study of the groundwater resources evaluation area in the Songliao River Basin

YU Huiming¹, GUO Xiaodong¹, WANG Xiaoguang¹, LI Wenpeng², LI Chunyan², GENG Xin³

(1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China; 2. China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China; 3. Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, China Geological Survey, Baoding 071051, Hebei, China)

Abstract: This paper is the result of hydrogeological survey engineering.

收稿日期: 2022-07-22; 改回日期: 2023-02-24

基金项目: 中国地质调查局项目(DD2019340)资助。

作者简介: 于慧明, 女, 1985 年生, 高级工程师, 主要从事水文地质和环境地质研究; E-mail: huiming2008@126.com。

通讯作者: 郭晓东, 男, 1981 年生, 教授级高级工程师, 主要从事水文地质和环境地质研究; E-mail: 287684839@qq.com。

[Objective] Evaluation of groundwater resources is essential for the management and sustainable utilization groundwater resources as well as the preservation of the ecological environment. The groundwater resources division serves as the foundation for assessing groundwater resources. **[Methods]** Based on the groundwater survey engineering, the theory of water cycle and groundwater system and the features of recharge, runoff, discharge and storage, the groundwater resources area of the Songliao River Basin is redivided by combining hydrogeological characteristics with surface water basins. **[Results]** There are four division levels: 2 first-level subareas, 6 second-level subareas, 17 third-level subareas, and 56 fourth-level subareas. The first-level subarea is divided into the Songhua River Basin and Liaohe River Basin based on the first-level drainage basin of surface water. The secondary zone is centered on a broad plain (basin) and includes nearby mountain recharge zones in order to create a unified groundwater recharge and drainage system. The plains (basins) and surrounding mountain recharge areas are separated in the tertiary division. The fourth level zones in mountainous regions are divided by the fourth surface water basins, the Songnen Plain and Liaohe Plain are divided by the secondary surface water basins, and the Sanjiang Plain and Hailaer Basin remain independent and undivided. **[Conclusions]** The division scheme of new groundwater resources area in the Songliao River Basin effectively takes into account the basin and groundwater system, and completely reflects the formation and evolution process of groundwater. It is an effective application of groundwater system theory that provides a scientific premise for the next round of groundwater resources evaluation.

Key words: Songliao River Basin; hydrogeological survey engineering; groundwater resources; evaluation area division; groundwater system

Highlights: The formation of a comprehensive groundwater replenishment and drainage system centered on a sizable plain (basin), encompassing the recreation area of the surrounding mountains in the second-level zones, is proposed using a new partition mechanism. The groundwater resources of Songliao River Basin are uniformly divided based on the concept of groundwater systems, and the three rounds of groundwater resource evaluation zones are compared.

About the first author: YU Huiming, female, born in 1985, senior engineer, mainly engaged in hydrogeology and environmental geology research and survey; E-mail: huiming2008@126.com.

About the corresponding author: GUO Xiaodong, male, born in 1981, professor of engineering, mainly engaged in hydrogeology and environmental geology research and survey; E-mail: 287684839@qq.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No.DD2019340).

1 引言

地下水资源由于其空间分布广、时间调节性好、水质较好、可利用性强等特点,在社会生活及生产中具有重要意义,对保证城市及工农业用水安全起着十分重要的作用。随着经济飞速发展,各行业用水量不断加大,产生的用水问题也日渐突出。为了长期可持续地使用地下水资源,避免产生资源短缺和各类环境问题,应定期进行资源评价,掌握区域地下水资源的数量、质量及其变化情况,据此制定开发利用和保护规划(郭晓东等,2021;黄长生等,2021;尹立河等,2021)。地下水资源量计算是地下水资源评价的基础,而划分地下水资源评价区是资源计算的基础,评价区的划分关系着结果的合理性与可靠性,后续评价和管理规划制定等都要在此基础上开展。

20世纪80年代初,原地质矿产部组织开展了第

一轮全国地下水资源评价工作。原国土资源部在2000—2002年期间,组织开展了第二轮全国地下水资源评价工作。距第二轮地下水资源评价工作完成已经有20年的时间,由于受气候变化、人类工程和经济活动等因素的影响,地下水资源无论在数量、质量和区域分布上都发生了较大的变化,因此自然资源部组织中国地质调查局实施开展了第三轮地下水资源评价。本次松辽流域地下水资源区划分是第三轮地下水资源评价的基础工作。

近几十年来,国内与地下水相关的科研院所、高校和自然资源、水利等部门的学者分别对主要流域和平原的地下水系统进行了划分。黄河流域地下水系统划分(崔亚莉等,2004)一级系统基本上以黄河一级支流地表水流域分水岭为边界,二级系统则主要考虑含水介质的类型、水动力特征、地貌、支流流域的分布。在塔里木盆地(王占和等,2004)依据地表水流域划分了三级地下水系统。在鄂尔多

斯白垩系盆地(侯光才等,2006)地下水系统按局部、中间和区域地下水系统进行了划分。在鄂尔多斯盆地内蒙古能源基地(张俊等,2011)、哈密盆地(李崇博等,2016)和新疆伊犁河谷(邵杰等,2019)首先划分含水层系统,根据含水介质结构、岩相古地理条件及空间分布进一步划分为次级含水系统。除此之外,研究人员分别对河南境内黄河流域、宁南地区、关中平原、三江平原等地区也进行过地下水系统划分,根据地区特征对地下水系统的划分各有侧重,有的以含水系统作为首要划分依据,然后再进一步划分次级含水系统(尹喜霖和王子东,2004;周阳等,2018),或者在含水系统内部划分流动系统(曹剑锋等,2002;杨文等,2005;陈立等,2007)。

松嫩平原由于其典型性,研究程度较高。林学钰等(2000)对松嫩平原的含水层系统和地下水系统分别进行了划分并作详细论述。含水层系统按地层年代进行划分,地下水流动系统按高平原和低平原进行划分。赵海卿(2009)对松嫩平原分别进行了含水系统和地下水流动系统划分。含水层系统划分与林学钰等(2000)划分基本一致。浅层地下水流动系统首先按地表水二级区进行划分,然后再根据地下水赋存和补径排特征将地表水三级区具有相邻相似特征的区进行合并作为次级分区。深层地下水流动系统按承压含水系统时代以及它们之间的水利联系和水流特征进行划分。在本次第三轮地下水资源评价时借鉴了以上两个成果。张玉珊等(2014)以地表水二级流域对松嫩平原进行划分,尉意茹等(2019)以含水系统结合地表水和行政分区进行划分。

一些学者对松辽流域地下水资源区进行了划分。在中国地下水资源系统三级分区(娄华君等,2002),松辽流域一、二级分区与地表水流域一致,三级分区是在二级区内按孔隙水、裂隙水、冻结层上水等地下水类型进行划分。在中国北方地下水系统划分(杨会峰等,2014)中,将松辽流域作为一个地下水系统区块,在区块内再进行一至三级系统划分。地下水系统区块主要依据特大区域尺度上具有相似地下水循环特征且在地域上毗邻的盆地(流域)的组合物体划分,松辽流域整体为一个区块。一级地下水系统划分为三个大区:黑龙江—乌苏里

江流域、松嫩盆地、辽河流域。二级系统以次级盆地或次级流域划分。在水利部的水资源公报中(松辽水利委员会,2001)和在进行区域水资源计算时(王志刚等,2003),地下水资源分区与地表水流域一致,以地表水流域进行分区,计算时分山丘区和平原区。

第一轮东北经济区地下水资源评价(吉林省地质矿产局第一水文地质工程地质大队,1986)主要按地貌类型进行分区,一级区分为山区和平原两类,然后在山区和平原中分别按次级地貌进行划分。第二轮地下水资源评价每个省份划分方法不尽相同(张宗祐和李烈荣,2005a,b,c,d):黑龙江省主要按地表水流域、地貌类型、含水岩组等进行划分;吉林省主要以地貌类型、所处的地理位置及含水介质类型等进行划分;辽宁省先按地貌类型划分一级区,再按地表水流域和次级地貌划分二级区;内蒙古自治区按地表水流域划分一级区,再按地貌类型划分二级区。

松辽流域在第一轮地下水资源评价区划分最终评价结果为地貌单元而不是一级流域。第二轮地下水资源评价由于各省分区结果各异,不便于成果汇总和对比。因此,第三轮地下水资源评价将松辽流域整体按照统一的原则进行划分,使划分结果既能反映区域地下水特征又有利于进行资源汇总,并便于与水利部等其他部门成果进行衔接对比。

松辽流域包括松花江和辽河两个一级地表水流域(郭晓东等,2021),行政区划包括辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古自治区东部及河北省承德市东北部,陆地面积约为123.33 km²。西、北、东三面基本由大兴安岭、小兴安岭和长白山—千山环绕,东北部为三江平原,中间为松辽平原。受季风环流水汽来源及地形等因素控制,降水量分布不均,总趋势是由东部的长白山山地向西部的内蒙古高原递减。地下水资源受气候、地形地貌等因素影响亦分布不均。

2 地下水资源区划分原则与方法

2.1 地下水资源评价区划分原则

地下水系统理论是区域地下水资源的评价、开发利用和管理等工作的研究基础。通过地下水系统的分析,逐步建立水文地质概念模型、数学模型、

管理模型等。因此,地下水系统的研究已成为正确评价和合理开发利用区域地下水资源的基础。地下水资源评价区与地下水系统一样,都是地下水赋存和运移的场所。地下水资源评价区是根据地下水系统理论进行划分的,同样可以由高到低划分不同级别。与地下水系统有所不同,地下水资源区有时还会根据评价目的叠加不同级别的行政分区或地表水流域分区等进行划分,从而在区内开展对地下水数量、质量或开发利用等内容的评价。

20世纪60年代后,系统概念引入水文地质学中,但是不同学者对“地下水系统”的理解和应用不尽相同,有的理解为地下水含水系统,有的理解为地下水流动系统,也有的认为两者均包括(王大纯等,2006)。本文采用地下水系统包括地下水含水系统和地下水流动系统这一观点。

长期以来,人们一直将含水层视为地下水的基本功能单元。20世纪60年代初,Tóth(1963)在“水力连续性”概念的基础上,提出了流域盆地发育多级次地下水流动系统的概念,至20世纪80年代,此理论框架基本成型,认为流域盆地中地下水位存在高程差,在重力驱动下自组织地形成嵌套式多级次水流系统(梁杏等,2012)。英格伦于1986年在分析了形成地下水流动系统的物理机制的基础上,建立了一套着重于解决水质问题的地下水流动系统的概念与方法(王大纯等,2006)。20世纪80年代,陈梦熊院士将地下水系统理论引进中国,并对其进行了研究和实践,国内很多学者对地下水系统理论也进行了较为深入的研究(王大纯等,2006;张俊等,2010;梁杏等,2012)。本文在此引用《水文地质学基础》(王大纯等,2006)中关于地下水含水系统和流动系统的概念理解。地下含水系统是指由隔水或相对隔水岩层圈闭的,具有统一水力联系的含水岩系。地下水流动系统是指由源到汇的流面群构成的,具有统一时空演变过程的地下水体。流动系统具有统一的水流,沿着水流方向水量、盐量与热量发生有规律地演变,是研究水量、水质、水温时空演变的理想框架与工具。

含水系统与流动系统都具有级次性,任一含水系统或流动系统都可能包含不同级次的子系统(图1)。尤其是地下水流动系统的提出,为水文地质分析提供了一个十分有用的水文地质框架(王大纯

等,2006)。含水系统主要着眼于地质结构,在概念上是含水层的扩大。流动系统更着眼于水流,在流动系统的不同部位,地下水动力、水化学、水温等具有不同的特征,可以据此对地下水进行分析评价,采取不同的开发利用与保护措施。二者是从不同角度出发揭示地下水赋存与运动的系统性。根据含水系统和流动系统的级次性将地下水资源区也划分为不同级次,从而开展更加细致的研究。

根据地下水系统理论和参考以往分区划分结果,确定了本次分区划分原则。

(1)系统性原则。地下水的赋存和运移具有系统性特征,因此在进行地下水资源评价分区划分时,主要以地下水系统为划分依据,包括地下水含水系统和流动系统。在划分时主要从地下水流动系统出发,考虑相对完整的地下水补给、径流、排泄条件进行划分。在中间和局部分区时,综合考虑地下水含水系统和流动系统特征。

(2)级次性原则。地下水含水系统和流动系统均具有级次性,按照地下水系统的完整性和区域水文地质特征,从总体到局部,按照由高到低的级别分不同等级进行划分,从而使地下水资源评价结果更加准确,然后将评价结果由低级向高级汇总。

(3)同一等级分区中各区规模相对均匀的原则。在进行分区时应用系统性和级次性原则进行划分后,尽量避免同一级别分区在规模上相差过大。如逊河平原和兴凯湖平原,虽然以往习惯上会在较高级别中单独列出,但是其面积与松嫩平原、三江平原等相比要小很多,且主要为山间平原,不是大区域地下水汇流中心,因此对其进行降级处理,将其与所属的小流域合并,计算资源量时可单独进行然后将结果合并处理。

(4)继承性原则。在收集以往地下水资源分区的基础上,总结其优点并借鉴其分区方法和结果,可以利用已有地层资料、参数资料等,尤其是松嫩平原等几大平原以往资料较丰富,便于进行计算并与已有成果进行对比和衔接,在评价过程中还可以修正以往认识和计算中的不足之处。

(5)以自然和地质因素作为首要因素的原则。此次分区以地形、含水层等自然地质因素作为首要考虑因素,后续需要进行行政分区统计时,只需将结果利用GIS技术按行政区划与地下水资源分区相

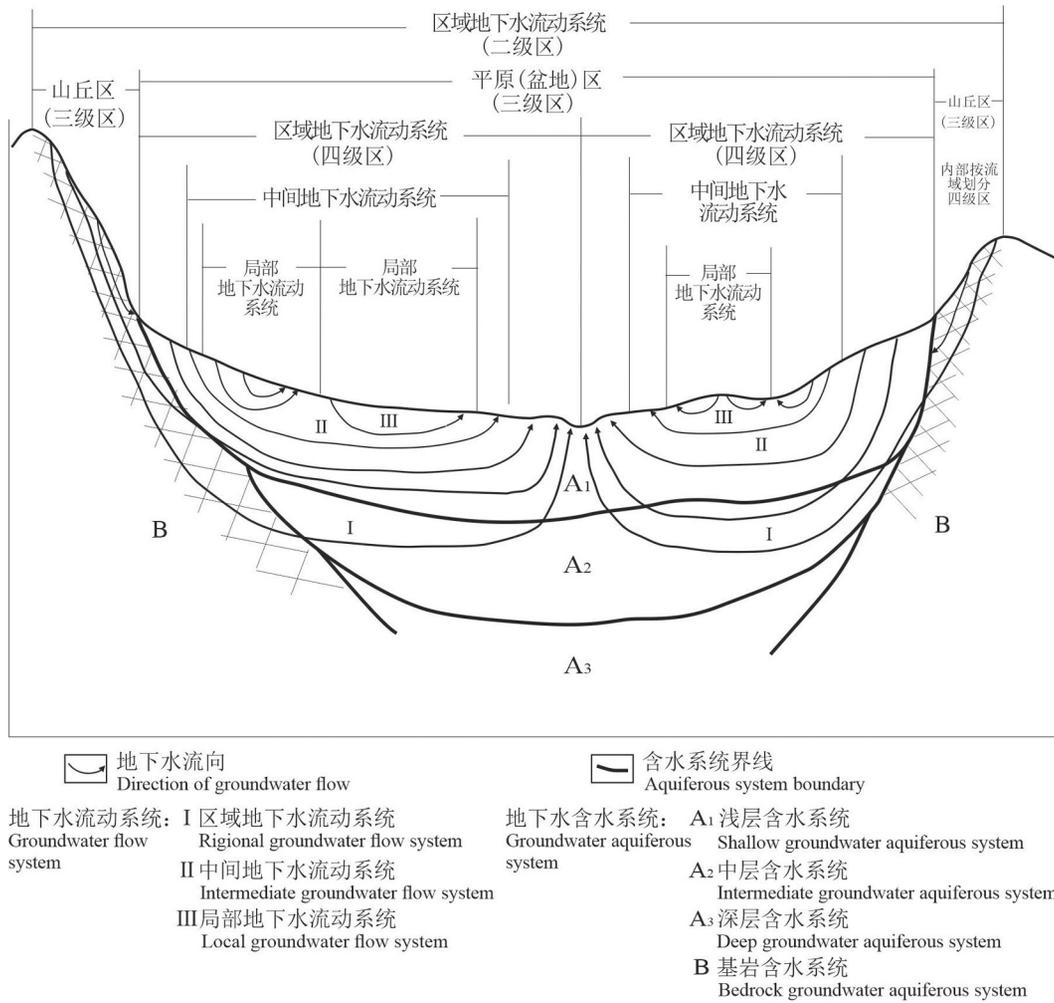


图1 地下水系统及地下水资源区划分示意图
 Fig.1 Sketch map of groundwater system and division of groundwater resources area

交然后汇总即可,不需要将行政区叠加从而导致分区过于琐碎。

(6)地下水与地表水联合划分原则。地下水与地表水有不可分割的关系,二者之间会相互转化。同时大部分地表水分水岭亦为地下水分水岭,因此将水文地质单元与河流流域分区相结合进行地下水资源区划分。

2.2 地下水资源区划分方法

地下水系统具有级次性,地下水资源评价分区以地下水系统为理论依据,因此也按级次进行划分。将松辽流域地下水资源区由大及小,逐级划分,按照区域—中间—局部的顺序划分。本次由高到低划分1~4级,评价汇总时由4级向1级汇总即由低级别向高级别、由局部向区域逐级计算和汇总。地下水与地表水有不可分割的关系,受地形等条件

控制,通常大型地表水流域分界线亦为地下水分界线,因此地表水流域亦是分区划分依据。

首先划分一级区,一级区与地表水一级流域相对应。在一级区内再划分二级区:综合考虑地下水的循环特征,地下水由补给区到排泄区形成完整的地下水流动系统,突出以地下水汇流盆地为中心的平原汇流区和山丘补给区,将此系统划分为一个二级区。在二级区内,由于山区和平原地下水赋存特征不同,在三级区划分时按山区—平原界线再次划分。在三级区内,综合考虑地表水流域和地下水流动系统特征,将其划分为若干四级区。

2.2.1 一级分区

松辽流域由松花江流域和辽河流域两个一级流域组成,流域之间由松辽分水岭分隔,地下分水岭与地表分水岭基本一致。在分水岭两侧水流基

本不发生交换,形成独立完整的水循环体系,因此以一级地表水流域划分一级地下水分区。此划分与水利部门一级区一致,也便于成果比较和发布。

2.2.2 二级分区

在一级分区内,平原(盆地)地区地势低,是区域地下水流动系统的排泄中心。大兴安岭、小兴安岭等丘陵山地地势高,山区地下水在接受大气降水等补给后,分水岭两侧的地下水分别由地势高处向低处流动,在重力势能的驱动下,最终流向地势低洼的平原、河道或海洋。大型平原(盆地)与周边山区交界处通常会接受来自山区河谷潜流的侧向补给以及非河谷潜流的侧向补给,平原(盆地)中的地下水与周边山区的地下水有不可分割的关系。因此,以大型平原(盆地)为汇流中心,地下水由周边山区向平原(盆地)内流动,形成了完整的区域地下水流动系统,以此来划分地下水资源评价二级区。不同于以往仅按地貌或者流域划分,本次划分将整个平原(盆地)及作为其补给来源的所有周边山区流入的地下水流包括进来,更体现了地下水流的整体性以及地下水的循环演化过程。

松辽流域还包含若干独流入海的二级流域,在流域内无大型的平原盆地作为地下水汇集中心,地貌类型均为山地,地下水的补径排与地表水密切相关,最终流向海洋。因此以地表水流域作为划分依据将独流入海流域单独划分。同时根据同一级别分区规模相对均匀的原则以及水系所注入的海域,将相邻的绥芬河和图们江流域、鸭绿江和沿黄渤海诸河流域分别统一作为一个二级区。

2.2.3 三级分区

山丘区和平原区地下水赋存和运移特征不同,在评价方法选择等方面也有区别:山丘区主要赋存裂隙水和岩溶水,一般不易形成具有统一联系的含水层,水量分布不均匀,评价时一般采用排泄量法;平原区含水层主要由第四系冲洪积、湖积、冰水堆积等成因沉积的砂、砂砾石层组成,孔隙分布连续均匀,多构成具有统一水力联系的含水系统,评价时主要采用补给量法。因此,根据含水系统特征,在二级区内将大型平原(盆地)区与其周边的山丘区分别划分为三级区。在独流入海流域二级区内,以地表水二级流域划分三级区。

2.2.4 四级分区

由于地下水与地表水关系密切,四级分区以地表水流域进行划分。在山丘区,地下水常以基流形式进入地表水,且其流动和赋存特征受地形地貌控制。考虑到汇入干流的主要支流情况、流域规模、对水利部门已有资料利用等因素,以地表水四级流域界线作为山丘区四级分区依据,山间小盆地、山间河谷按山丘区考虑。在平原区,尽量保证流动系统的整体性,避免进行频繁的流入流出计算,同时参考以往对松辽平原区的划分方法,以地表水二级流域进行四级区划分。每个地表水二级流域都是一个完整的地下水流动系统,而且也有利于数据汇总和成果比较。

3 地下水资源评价区划分结果

松辽流域地下水资源区按1~4级逐级划分,划分一级区2个,二级区6个,三级区17个,四级区56个(图2,表1)。按全国地下水资源评价要求,地下水资源分区编号按流域从上游到下游或者从西向东、从北向南依次编排。一级区采用GA~GK大写字母表示,二、三、四级区编号均采用阿拉伯数字表示,各级之间以短横线依次连接,例如GA-1-1-1。根据一级地表水流域划分为松花江流域地下水资源区(GA)和辽河流域地下水资源区(GB)。下面在两个一级区内分别对二到四级分区进行阐述。按此分区进行了2020年度地下水资源量评价,并汇总为1~3级区结果(表2)。2020年松辽流域地下水资源总量为797.31亿 m^3/a 。

3.1 松花江流域地下水资源区(GA)

将此一级区以松嫩平原、三江平原、海拉尔盆地为汇流中心划分为松嫩区、三江区、海拉尔区以及独流入海流域划分为绥芬河—图们江区共4个二级区。2020年松花江流域地下水资源总量为596.81亿 m^3/a ,松嫩区和三江区资源量较大,资源量总和占一级区的88.8%,其余2个区资源量较小。

3.1.1 松嫩区(GA-1)

以松嫩平原为中心,西、北、东以大兴安岭、小兴安岭和长白山的松花江上游流域和第二松花江流域分水岭为界,与南部的松辽分水岭圈闭,形成了一个完整的区域地下水流动系统,地下水由山区

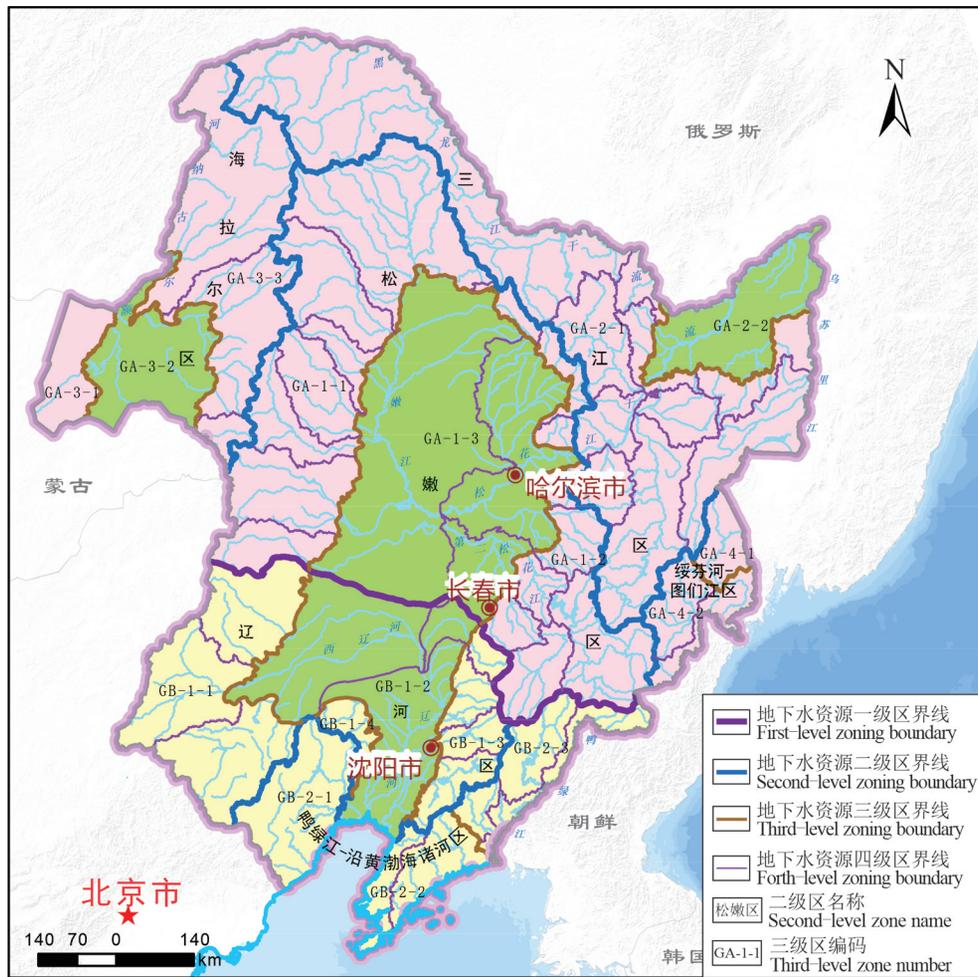


图2 松辽流域地下水资源区划分图

Fig.2 Division of groundwater resources area in the Songliao River Basin

向平原区径流。2020年地下水资源总量为287.21亿 m^3/a 。

依据山丘区和平原地下水赋存和运移特征的区别,三级区划分将山丘区和平原区分开。松嫩平原作为一个大型地下水汇水盆地,构成一个完整的地下水系统,因此作为一个三级区。山丘区根据地理位置和所属山系划分为松嫩平原大小兴安岭补给区和松嫩平原长白山西北部补给区2个三级区。

(1) 松嫩平原大小兴安岭补给区(GA-1-1)

该区主要位于松嫩区西部和北部,区内山体低缓,河谷宽阔,以花岗岩等基岩裂隙水为主。根据流域规模、方便与以往评价成果对比等原则,按地表水四级流域进行四级区划分。共划分为诺敏河、阿伦河—音河、雅鲁河等10个四级区。

(2) 松嫩平原长白山西北部补给区(GA-1-2)

该区位于松嫩区东南部,主要包括第二松花江流域和流入松嫩平原的松花江干流部分支流流域。该区主要位于长白山山地,地下水类型以玄武岩孔洞裂隙水和花岗岩风化裂隙水为主,水量较为丰富。根据地表水流域四级区,将该区划分为拉林河、辉发河、第二松花江干流下游区等6个四级区。

(3) 松嫩平原区(GA-1-3)

松嫩平原位于松辽流域中部,长约600 km,宽约100~400 km,面积约18.2万 km^2 ,是一个潜水含水层普遍分布、承压含水层多层叠置的大型蓄水盆地。西部山前倾斜平原、冲洪积扇地的厚层卵砾石层,赋存有丰富的孔隙潜水,平原内的河谷地区富水性也较好。东部高平原地形起伏较大,第四系含水层较薄,颗粒细,富水性弱。在平原中部,中生代后期以来沉积了多个不同时代的含水层,形成了第

表1 松辽流域地下水资源区划分结果

Table 1 Division result of groundwater resources area in the Songliao River Basin

一级编码	一级区名	二级编码	二级区名	三级编码	三级区名	四级编码	四级区名		
GA	松花江流域地下水资源区	GA-1	松嫩区	GA-1-1	松嫩平原大小兴安岭补给区	GA-1-1-1	嫩江尼尔基以上山丘区		
						GA-1-1-2	诺敏河山丘区		
						GA-1-1-3	阿伦河-音河山丘区		
						GA-1-1-4	雅鲁河山丘区		
						GA-1-1-5	绰尔河山丘区		
						GA-1-1-6	洮儿河山丘区		
						GA-1-1-7	霍林河山丘区		
						GA-1-1-8	讷谟尔河山丘区		
						GA-1-1-9	呼兰河山丘区		
		GA-1-1-10	松花江哈尔滨—木兰干流北部山丘区						
		GA-1-2	松嫩平原长白山西北部补给区	GA-1-2-1	松花江哈尔滨—木兰干流南部山丘区				
				GA-1-2-2	拉林河山丘区				
				GA-1-2-3	第二松花江干流上游山丘区				
				GA-1-2-4	辉发河山丘区				
				GA-1-2-5	饮马河山丘区				
				GA-1-2-6	第二松花江干流下游山丘区				
		GA-1-3	松嫩平原区	GA-1-3-1	嫩江流域平原区				
				GA-1-3-2	第二松花江流域平原区				
				GA-1-3-3	松花江干流流域平原区				
		GA-2	三江区	GA-2-1	三江平原大小兴安岭—张广才岭补给区	GA-2-1-1	逊河区		
						GA-2-1-2	黑龙江干流中游山丘区		
GA-2-1-3	汤旺河山丘区								
GA-2-1-4	松花江干流佳木斯—同江山丘区								
GA-2-1-5	松花江干流木兰—佳木斯山丘区								
GA-2-1-6	牡丹江山丘区								
GA-2-1-7	倭肯河山丘区								
GA-2-1-8	挠力河上游—乌苏里江干流山丘区								
GA-2-1-9	蚂蚁河山丘区								
GA-2-1-10	兴凯湖区								
GA-2-2	三江平原区	GA-2-2-1	三江平原地下水汇流区						
GA-3	海拉尔区	GA-3-1	海拉尔盆地西部补给区	GA-3-1-1	呼伦湖西侧山丘区				
				GA-3-2	海拉尔盆地地区	GA-3-2-1	海拉尔盆地汇流区		
				GA-3-3	海拉尔盆地东部补给区	GA-3-3-1	乌尔逊河山丘区		
GA-3-3-2	海拉尔河山丘区								
GA-3-3-3	额尔古纳干流区间山丘区								
GA-4	绥芬河—图们江区	GA-4-1	绥芬河流域区	GA-4-1-1	绥芬河山丘区				
				GA-4-2	图们江流域区	GA-4-2-1	图们江干流山丘区		
GA-4-2-2	嘎呀河山丘区								
GB	辽河流域地下水资源区	GB-1	辽河区	GB-1-1	辽河平原大兴安岭南部补给区	GB-1-1-1	乌力吉木仁河山丘区		
						GB-1-1-2	西拉木伦河山丘区		
						GB-1-1-3	老哈河山丘区		
				GB-1-2	辽河平原区	GB-1-2-1	西辽河平原区		
						GB-1-2-2	东辽河平原区		
						GB-1-2-3	下辽河平原区		
						GB-1-3	辽河平原长白山—千山补给区	GB-1-3-1	东辽河山丘区
		GB-1-3-2	辽河干流东部山丘区						
		GB-1-3-3	浑河山丘区						
		GB-1-3-4	太子河山丘区						
		GB-1-4	辽河平原辽西山地东部补给区	GB-1-4-1	辽河干流西部山丘区				
		GB-2	鸭绿江—沿黄渤海诸河区	GB-2-1	沿黄渤海诸河流域西部区	GB-2-1-1	辽西沿渤海诸河山丘区		
						GB-2-2	沿黄渤海诸河流域东部区	GB-2-2-1	辽东沿渤海诸河山丘区
								GB-2-2-2	辽东沿黄海诸河山丘区
				GB-2-3	鸭绿江流域区	GB-2-3-1	浑江口以上干流区间山丘区		
GB-2-3-2	浑江口以下干流区间山丘区								
GB-2-3-3	浑江山丘区								
GB-2-3-4	瑗河山丘区								

表2 2020年松辽流域1~3级评价分区地下水资源量

Table 2 Groundwater resources in level 1~3 evaluation divisions of Songliao River Basin in 2020

一级区名	二级区名	三级区名	分区面积/10 ⁴ km ²	地下水资源量/10 ⁸ m ³
松花江流域地下水 水资源区	松嫩区	松嫩平原大小兴安岭补给区	18.96	44.10
		松嫩平原长白山西北部补给区	7.31	46.24
		松嫩平原区	18.21	200.38
		合计	44.49	287.21
	三江区	三江平原大小兴安岭—张广才岭补给区	24.74	139.92
		三江平原区	4.10	102.92
		合计	28.84	242.84
	海拉尔区	海拉尔盆地西部补给区	1.80	4.51
		海拉尔盆地	3.93	18.74
		海拉尔盆地东部补给区	9.99	23.21
		合计	15.71	45.72
	绥芬河—图们江区	绥芬河流域区	1.03	6.77
图们江流域区		2.27	14.27	
合计		3.30	21.04	
总计			92.34	596.81
辽河流域地下 水资源区	辽河区	辽河平原大兴安岭南部补给区	8.53	14.92
		辽河平原区	9.25	120.98
		辽河平原长白山—千山补给区	3.15	19.65
		辽河平原辽西山地东部补给区	0.78	1.33
	合计		21.71	156.88
	鸭绿江—沿黄渤海 诸河区	沿黄渤海诸河流域西部区	3.55	9.74
		沿黄渤海诸河流域东部区	2.52	12.54
		鸭绿江流域区	3.22	21.34
合计		9.29	43.62	
总计			30.99	200.50
松辽流域			123.33	797.31

四系潜水含水层与第四系泰康组、新近系大安组、古近系依安组等承压含水层多层叠置的含水层系统,是区域地下水流动系统的排泄区。第四系潜水富水性由四周向低平原中心逐渐减弱,下更新统承压含水层和泰康组、大安组含水层富水性好,白垩系含水层富水性差。地下水总的流动趋势是由西、北、东三面,汇同来自南部松辽分水岭的径流,向嫩江、第二松花江和松花江干流河谷汇集,并以潜流和向河谷排泄的方式向下游运动。

嫩江、第二松花江和松花江干流及其支流水系流经平原区,形成相应的流域,以分水岭为界形成不同的流动系统,因此划分为嫩江流域平原区、第二松花江流域平原区和松花江干流流域平原区3个四级区。

3.1.2 三江区(GA-2)

三江区位于松花江流域一级区东北部,主要以

黑龙江干流、乌苏里江和松花江干流下游流域组成,2020年地下水资源总量为242.84亿m³/a。松花江干流由松嫩区流入本区,以流入松嫩平原的支流分水岭为界。流入松嫩平原的支流流域划入松嫩区,其余划入本区。区内主要平原有三江平原、兴凯湖平原和逊河平原。三江平原和兴凯湖平原是主要的蓄水盆地,黑龙江和乌苏里江作为界河是本区域地下水的主要排泄区。作为中国重要井灌水稻种植区,地下水开发利用是重要的排泄形式。

按照山地和平原的划分依据,本区划分为三江平原汇流区和三江平原大小兴安岭—张广才岭补给区2个三级区。

(1) 三江平原大小兴安岭—张广才岭补给区(GA-2-1)

该区分布有基岩裂隙水、玄武岩孔洞裂隙水和碎屑岩类孔隙裂隙水。基岩裂隙水分布广泛,富水

性极不均一。在黑龙江、松花江等河流的干支流河谷中有条带状展布的第四系孔隙水,逊河平原及兴凯湖平原同样赋存第四系孔隙水,富水性较好。为保证山区流域完整性及流域面积规模对等,将逊河平原及其上游补给统一为一个四级区,将兴凯湖平原及其所属山区补给区作为一个四级区。共划分10个四级区。

(2)三江平原区(GA-2-2)

三江平原位于松辽流域东北部,系黑龙江、松花江和乌苏里江冲积而成,面积约4.1万km²。三江平原地势低平,是一个由山前微向北东倾覆的大型储水盆地。含水层在区域内连续分布,岩性主要为砂、砂砾石等,绝大部分地区上、中、下更新统叠加,其间无区域性连续隔水层,水力联系密切,构成了大厚度孔隙水含水层。含水层厚度由西部和南部山前向平原腹地过渡,厚度逐渐增大,普遍为120~200 m。地下水总的流动趋势是自西南向东北流动,通过向河流排泄、侧向径流等在东北部流出区外。三江平原大量种植水稻,开采地下水灌溉,水位不断下降。

3.1.3 海拉尔区(GA-3)

该区位于松辽流域西北部,与地表水二级流域额尔古纳河流域范围一致,东部以大兴安岭为分水岭与嫩江流域相接,西部和南部为国界,2020年地下水资源总量为45.72亿m³/a。该区以海拉尔盆地为中心,包括东西两侧的额尔古纳河流域山丘区,形成一个区域地下水流动系统,因此划分为一个二级区。在二级区内将盆地和山丘区分开从而划分三级区,分为海拉尔盆地区、海拉尔盆地西部补给区和海拉尔盆地东部补给区。

(1)海拉尔盆地西部补给区(GA-3-1)

海拉尔盆地西部为丘陵区,为克鲁伦河流域,区内岩体裂隙发育,赋存裂隙水,河谷区赋存松散岩类孔隙水。该区降水稀少因此地下水资源量较少。区内地下水径流畅通,一部分以泉或地下径流的形式补给河流和呼伦湖,另一部分在山前地带以侧向径流方式补给中部及南部的盆地区。

(2)海拉尔盆地区(GA-3-2)

盆地内沿海拉尔河等主要河谷区以及盆地中南部分布松散岩类孔隙水,含水层岩性主要为冲洪积和冰水沉积的砂卵石及泥砾。由东、北、西

侧山前至南部腹地,含水层厚度增大,富水程度增强。低洼地带为地下水的汇集中心,如河流、湖泊是地下水的排泄区。由于气候干旱,地下水位埋藏浅的地区蒸发量也较大。

(3)海拉尔盆地东部补给区(GA-3-3)

海拉尔盆地东部补给区为大兴安岭西坡低山丘陵区,区内多花岗岩类风化裂隙水和构造裂隙水,2020年地下水资源量为23.21亿m³/a。地下水接受大气降水补给,向河流排泄或者沿河谷以地下潜流排泄至平原区。该区按照地表水流域可分为乌尔逊河山丘区、海拉尔河山丘区和额尔古纳干流区间山丘区。

3.1.4 绥芬河—图们江区(GA-4)

该区位于松花江流域一级区东部,东部与俄罗斯和朝鲜接壤,主要包括绥芬河和图们江水系,这两个流域面积较小,且都流入日本海,因此合并为一个二级区。2020年该区地下水资源总量为21.04亿m³/a。

(1)绥芬河流域区(GA-4-1)

绥芬河河谷平原赋存第四系孔隙水,含水层为第四系全新统冲积层,富水性中等。花岗岩风化带内分布风化裂隙水,在各种断裂带的复合部位及侵入岩与围岩的接触地带分布构造裂隙水,在老黑山镇南部的低山区分布有玄武岩孔隙裂隙水。

(2)图们江流域区(GA-4-2)

流域南部在和龙—靖宇一带主要分布玄武岩孔隙裂隙水,富水性较弱;延边附近分布有富水性较强的碎屑岩类孔隙裂隙水;其余地区以基岩裂隙水为主,富水性较弱。根据其干、支流流域情况,该区分为图们江干流流域区和嘎呀河流域区2个四级区。

3.2 辽河流域地下水资源区(GB)

在此一级区内划分了以辽河平原为汇流中心的辽河区和无大型平原作为汇流区的鸭绿江—沿黄渤海诸河区2个二级区。2020年辽河流域地下水资源总量为200.50亿m³/a,其中辽河区资源量占总量的78%。

3.2.1 辽河区(GB-1)

位于辽河流域一级区中北部,以辽河平原为中心,北部以松辽分水岭为界,西侧以大兴安岭、辽西山地辽河分水岭为界,东侧以长白山、千山东辽河和浑河、太子河分水岭为界。平原区地势低平,地

下水由周围山丘区向平原区流动,形成完整的地下水流系统。2020年辽河区地下水资源总量为156.88亿 m^3/a 。

整个辽河平原作为区域地下水汇流中心划分为一个三级区,其周边的补给区根据区域地貌和地理位置分为大兴安岭南部补给区、长白山—千山补给区和辽西山地东部补给区3个三级区。

(1)辽河平原大兴安岭南部补给区(GB-1-1)

大兴安岭南段山丘区,主要地层为古、中生界的变质岩和岩浆岩,裂隙发育,主要赋存基岩裂隙水和零星分布的碎屑岩类孔隙裂隙水,富水性普遍较差。按照地表水流域,可进一步划分为乌力吉木仁河山丘区、西拉木伦河山丘区和老哈河山丘区。

(2)辽河平原区(GB-1-2)

辽河平原地势由西、北、东向中间倾斜降低,南侧与渤海相接。区内主要赋存松散岩类孔隙水,含水层厚度由两侧山前向平原中部增厚,颗粒相应地由粗变细,并逐渐变为多层含水层。地下水总的运动方向为由山前倾斜平原向平原区内部和滨海平原区径流,且径流速度逐渐变慢,在滨海地区近于停滞。

按照流域和地下水流系统特征,将辽河平原区进一步划分为西辽河平原区、东辽河平原区和下辽河平原区3个四级区。西辽河平原含水层由山前向平原中部增厚,开鲁一带为沉积中心,厚度可达200m以上。白音他拉—开鲁一带,含水层岩性为砂砾石、中粗砂等,厚度100~180m,富水性极强,向外围富水性逐渐减弱。下辽河平原第四系松散岩类含水层厚度大、分布稳定、水量丰富,尤其是山前倾斜平原富水性极强。东辽河平原含水层厚度从东辽河上游到下游逐渐增厚,富水性逐渐增大。

(3)辽河平原长白山—千山补给区(GB-1-3)

区域主要为丘陵山区,赋存富水性较弱的基岩裂隙水。在太子河流域多发育碳酸盐岩裂隙岩溶水,富水性较好,在山间盆谷地中多分布有第四系松散砂砾石层,富含孔隙潜水。按照地表水四级流域分区,可以进一步划分为东辽河山丘区、辽河干流东部山丘区、浑河山丘区和太子河山丘区4个四级区。

(4)辽河平原辽西山地东部补给区(GB-1-4)

位于下辽河平原西北部,绕阳河上游山丘区,

区域赋存富水性较弱的基岩裂隙水,部分地区具有碳酸盐岩、碎屑岩褶皱蓄水构造和断裂蓄水构造。

3.2.2 鸭绿江—沿黄渤海诸河区(GB-2)

该区位于辽河流域一级区南部,地势总体趋势为北高南低。主要包括鸭绿江流域、辽东半岛独流入海诸河和辽西独流入海诸河。由于流域面积规模小,且都流入渤海和黄海,合并作为一个二级区。区内平原盆地规模较小,无大型地下水汇流中心,主要为丘陵和山地。2020年地下水资源总量为43.62亿 m^3/a 。根据地理位置、地表水流域划分为沿黄渤海诸河流域西部区、沿黄渤海诸河流域东部区、鸭绿江流域区3个三级区。

(1)沿黄渤海诸河流域西部区(GB-2-1)

位于二级区西部,主要为辽西山地,包括独流入海的大凌河、小凌河、六股河等流域,以基岩裂隙水为主,发育有富水性较弱的碎屑岩类孔隙裂隙水,零散分布有富水性较好的碳酸盐岩裂隙溶洞水,区内分布有水平岩层、褶皱、断裂等蓄水构造。

(2)沿黄渤海诸河流域东部区(GB-2-2)

该区大致位于辽东半岛,为山丘区,包括大洋河、碧流河等流域,以基岩裂隙水为主,在半岛南端分布有碎屑岩类孔隙裂隙水。按流入海域进一步划分为辽东沿渤海诸河山丘区、辽东沿黄海诸河山丘区2个四级区。

(3)鸭绿江流域区(GB-2-3)

该区位于辽宁东部和吉林东南部,紧邻朝鲜。主要为基岩裂隙水,在长白山天池周边以及靖宇、敦化一带发育玄武岩孔隙裂隙水,临江、桓仁一线赋存碳酸盐岩裂隙溶洞水,富水性较好。按照流域分区将该区划分为浑江口以上干流区间山丘区、浑江口以下干流区间山丘区、浑江山丘区和瑗河山丘区4个四级区。

4 讨 论

4.1 与以往三大平原地下水资源区划分对比

林学钰等(2000)根据流域水系、地质构造、地貌条件及区域性地下水分水岭将松嫩平原划分为5个亚系统:松花江流域高平原地下水亚系统、嫩江流域高平原地下水亚系统、嫩江流域山前平原地下水亚系统、中央低平原地下水亚系统、松嫩干流地下水亚系统,在亚系统内根据次一级水系和地下水

分水岭进一步划分若干个地下水支系统。赵海卿(2009)将松嫩平原地下水流动系统在垂向上分为浅层和中、深层两个系统,且分布范围不一致。根据浅层地下水的主要控水因素——流域水系、地下水之间的水力联系及水循环条件,以潜水区域地下分水岭为界,将浅层地下水系统划分为嫩江、第二松花江、松花江干流3个二级地下水系统。据流域次级水系,以地下分水岭为界,进一步划分三级地下水系统。二者对松嫩平原的含水层系统也进行了划分,而地下水资源评价区均是从地下水流动系统角度进行划分的。

闫宝强等^①对下辽河平原地下水进行评价时,引用辽宁省水文水资源勘测局2004年编制的《辽宁省水资源评价》中的分区,分为柳绕平原、西部山前倾斜平原、东部山前倾斜平原、中部冲积平原。李志等(2007)对西辽河平原地下水系统进行了划分:依据中国地质调查局2004年《全国地下水资源及其环境问题调查评价技术要求系列(二)》—中国地下水系统划分初步方案,西辽河平原是松辽地下水系统区,辽河一级地下水系统的一部分,在此基础上进行二、三、四级地下水系统划分。二级系统依据二、三级流域的范围和次级盆地范围来划分,分为下辽河和东辽河—西辽河2个二级地下水系统。三级系统根据汇入干流的主要支流流域进行划分,四级区根据次级支流和地貌类型进行划分。

本次第三轮地下水资源评价按照浅层潜水—微承压水和深层承压水进行分区分层评价。对浅层潜水—微承压水,评价可更新的地下水资源量,是主要评价对象。对深层难以更新的承压水,评价地下水储量。浅层地下水水流场受地形和水文系统控制,与地表水联系密切,由山前补给区到中心排泄区组成一个完整的地下水流动系统,因此在此次第三轮地下水评价区划分时松嫩平原和辽河平原采用汇入干流的主要支流流域对平原进行划分,均划分了三个次级分区。此种划分既符合以往对于两大平原的认识,同时避免了过多的重复量计算。每个分区作为一个整体对地下水的变化做出响应,具体计算时可参考以往的参数分区。

杨文等(2005)和杨湘奎(2008)对三江平原地下水进行潜力评价时,将地下水含水系统和流动系统均划分为第四系孔隙水子系统、古近—新近系裂

隙孔隙水子系统和前第四系基岩裂隙水子系统。三江平原主要以潜水为主,含水层之间在平面上或剖面上相互连接,存在直接或间接的水力联系,并共同构成区内地下水的储存空间与径流通道,因此本次作为一个完整的地下水系统不再细分。

4.2 与以往松辽流域地下水资源区划分对比

关于松辽流域整体进行地下水资源区划分较少,在第一轮地下水资源评价时做了整体划分,杨会峰等(2014)在中国北方地下水系统、娄华君等(2002)在中国地下水资源三级区划分时,均涉及到松辽流域区。第二轮地下水资源评价是按省分别评价,仅汇总最终一级区结果。

以往的松辽流域大区域地下水资源区划分,娄华君等(2002)在一、二级地表水流域基础上,主要突出了含水介质类型,未按地下水流动系统或含水系统进行划分,分区过于简单。杨会峰等(2014)对松辽流域划分时,一级系统的划分理念与本次二级区划分理念相似,将低平原作为排泄基准,但是将松嫩盆地单独提出作为一级系统,未将周边山区补给区包括进来。水利部以地表水流域进行地下水资源区划分,进行计算时会叠加行政区划,计算后按地表水流域区和行政区分别进行汇总。仅按流域划分不能很好地反映水文地质特征,叠加行政区后会造过多的重复量计算。本次评价主要以水文地质特征为主要划分依据,考虑到地下水系统的完整性未按行政区将其分割开来,需要行政区资源量时可利用GIS技术进行处理。

第一轮东北经济区地下水资源评价中(吉林省地质矿产局第一水文地质工程地质大队,1986),主要以地貌类型进行划分。第二轮地下水资源评价分区每个省按不同方法分别划分(张宗祜和李烈荣,2004,2005a,b,c,d)。现将三轮地下水资源评价分区进行对比(表3)。

第一轮地下水资源评价一级区以山区和平原两类大型地貌划分,在山丘区将河谷平原与山区分开,总体上是以含水系统类型进行划分。此类划分割裂了山丘区和平原区地下水的联系;只按地貌类型划分无法完全体现地下水系统的整体性。第二轮评价中吉林省、辽宁省均以山地和平原两类作为一级分区,黑龙江省和内蒙古自治区以地表水流域进行一级区划分。以往的跨越平原和山地的大区

表3 三轮地下水资源评价分区对比

Table 3 Zoning comparison of three rounds of groundwater resources evaluation

分区级别	一级区	二级区	三级区	四级区
第一轮地下水资源评价	按地貌类型划分为山地和高原:山地分别为长白山山地、大兴安岭山地和燕山山地;平原分别为呼伦贝尔高原、辽河平原、三江兴凯湖平原、松辽平原	山地内又按主要河流的流域划分;平原区将三江兴凯湖平原分为三江低平原和穆稜兴凯低平原,松辽平原分为松嫩平原和辽河平原	将二级区按中低山、山间河谷、黄土台地、高平原等地貌类型细分	
黑龙江省	按地下水流域和汇水范围划分,如黑龙江中上游流域、松花江上游流域等6个一级区	在一级区内按地貌类型划分为山区和平原区两类,共11个亚区。如松花江上游流域地下水资源区分为丘陵山区和松嫩平原两个亚区	在二级区中再按地层时代、含水岩组和埋藏条件划分53个子区,如松嫩平原亚区分为第四系孔隙潜水子区,第四系孔隙承压水子区,新近系大安组裂隙孔隙承压水子区等	
吉林省	按地貌类型划分为山地和高原两个一级区	按地貌形态类型划分为台塬台地、中低山、低山丘陵、山间盆地、高平原、低平原、倾斜平原、辽河平原8个地下水单元	按地下水储存条件划分为长白、靖宇、敦化台塬台地玄武岩孔洞裂隙水等17个地下水单元	
辽宁省	按地质构造和地貌成因类型的不同,划分为辽西山区、辽北丘陵、辽东山区、下辽河平原4个地下水资源区	按地貌形态类型和流域进一步划分为19个二级区。如辽西山区划分为绕阳河流域、大凌河流域等;下辽河平原区划分为西部山前倾斜平原、新民台安冲积平原等		
内蒙古自治区	按大型地表水流域划分为额尔古纳河水系、嫩江水系和西辽河水系地下水资源区	按地貌将每个流域区分为山地丘陵区和平原(高原)区,如嫩江水系区划分为大兴安岭东部山地丘陵亚区、松嫩平原亚区		
第三轮地下水资源评价	按一级地表水流域划分为松花江流域和辽河流域2个一级区	在一级区内以大型平原(盆地)为地下水汇流中心,包含周围山区补给区形成完整地下水流动系统划分,相邻独流入海二级流域合并为一个二级区,共划分6个二级区	由于山区与平原地下水的赋存与运移特征不同,将平原(盆地)与其周边山区补给区分开分别作为三级区,独流入海流域以地表水二级流域划分三级区,共17个三级区	基于地下水与地表水的密切联系,山丘区以四级流域划分,平原区以二级流域划分,共划分56个二级区

域地下水资源区划分,要么首先将山区和平原分开,然后在内部按流域或含水层特征进行划分;要么以流域为界线,将山区和平原按流域整体进行划分。各省不同的划分方法导致即使同一水文地质单元也无法进行资源汇总和评价结果进一步利用。本次地下水资源区划分,既考虑了地貌特征又考虑了

地下水的循环。将四大平原(盆地)分别作为整体的排泄中心,地下水由周边山地和平原区流动。在二级分区中将平原及来源于周边山区的地下水流统一起来,作为一个整体。反映了山区地下水由山区接受补给到平原区排泄的全过程,而不仅仅是在山区内和平原区内局部的循环。以往将盆地和周边山

区分别划分,未考虑二者之间的地下水的关联性。各大平原(盆地)周边山区以流域分水岭为界,两侧水流基本不发生水力联系。将独流入海流域单独划分,而不同于以往包含在某些流域或地貌类型内,更能体现地下水的径流和排泄特征。

5 结 论

(1)为更好地开展第三轮地下水资源评价工作,解决前两轮评价分区各省划分方法不统一及其他分区方法存在的问题,便于进行地下水资源评价结果的汇总,用新的理念对松辽流域地下水资源区进行了统一划分。以地下水系统理论为主要依据,按照系统性、级次性等原则,综合考虑与以往划分结果衔接和对比等因素,依据地下水的补给、径流、排泄特征,结合地表水流域将松辽流域地下水资源区由大及小,逐级划分为四级。划分结果为了解松辽流域地下水系统特征、开展地下水资源评价打下了基础。

(2)同以往分区相对比,提出了在一级流域内以大型平原盆地地下水汇流中心,包含周围山区补给区形成独立完整的区域地下水流动系统的二级区划分方法。此种划分兼顾流域和水文地质特征,反映完整的地下水补给、径流、排泄及形成演化过程。不同于以往仅以平原(盆地)为研究对象,在其中划分地下水流动系统。相对以往划分方法是一次突破,是地下水系统理论的新应用。

(3)采用了地下水和地表水联合划分。在水文地质分区的基础上,综合考虑地下水与地表水的密切联系,以流域和地下水系统综合运用划分地下水分区。没有简单划分为山区和平原两类,割裂二者之间地下水的联系;也没有直接按流域划分,不能反映出大平原作为区域地下水汇流中心的特点。

(4)充分考虑了地下水系统的完整性,避免了过多的重复量计算。在平原区以干流流域划分,未进行更细碎的划分,便于资源汇总和以往资料的应用。在将独流入海流域单独划分,而不同于以往包含在某些大流域或地貌单元内,更体现了地下水的排泄特征。

(5)首次系统总结了第一轮和第二轮地下水资源评价分区以及以往对各大平原分区划分结果,并与此次划分进行了对比分析。地下水资源区的划

分是地下水资源数量、质量等评价的基础工作,为了解区域地下水资源情况、研究地下水与环境问题、制定合理开发规划提供了前提。本文是对区域地下水资源评价区划分方法的探索,对其他类似区域地下水资源评价分区具有借鉴意义。

注释

①闫宝强,赵岩,陈曦. 2014. 下辽河平原地下水资源及环境问题调查评价专题报告[R]. 辽宁地质矿产调查院: 45-55.

References

- Cao Jianfeng, Ye Xueyan, Wang Fugang, Zhao Lin. 2002. The division and analysis of groundwater system of the Yellow River watershed in Henan Province[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 32(3): 251-254 (in Chinese with English abstract).
- Chen Li, Zhang Fawang, Yu Qiusheng, Xue Zhongqi, Zhao Hongmei, Lin Wenjing. 2007. Classification of the groundwater systems in South Ningxia[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science and Technology*, 5(5): 97-99 (in Chinese with English abstract).
- Cui Yali, Zhang Ge, Shao Jingli. 2004. Classification and characteristics of groundwater system in the Yellow River Basin[J]. *Resources Science*, 26(2): 2-8 (in Chinese with English abstract).
- Guo Xiaodong, Wang Xiaoguang, Liu Qiang, Wang Changqi, Xiao Changlai, Cheng Xuxue. 2021. Groundwater resources and ecological environment in Songhua River-Liaohe River Basin[J]. *Geology in China*, 48(4): 1062-1074 (in Chinese with English abstract).
- Hou Guangcai, Lin Xueyu, Su Xiaosi, Wang Xiaoyong, Liu Jie. 2006. Groundwater system in Ordos Cretaceous Artisan Basin (CAB)[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 36(3): 391-398 (in Chinese with English abstract).
- Huang Changsheng, Zhou Yun, Zhang Shengnan, Wang Jietao, Liu Fengmei, Gong Chong, Yi Chengyun, Li Long, Zhou Hong, Wei Liangshuai, Pan Xiaodong, Shao Changsheng, Li Yiyong, Han Wenjing, Yin Zhibin, Li Xiaozhe. 2021. Groundwater resources in the Yangtze River Basin and its current development and utilization[J]. *Geology in China*, 48(4): 979-1000 (in Chinese with English abstract).
- Li Chongbo, Chu Hongkuan, Song Yu, WangTuo. 2016. Study on the classification and characteristics of groundwater system in the Hami Basin[J]. *Xinjiang Geology*, 34(1): 139-143 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhi, Yu Mengwen, Zhang Liling. 2007. Investigation and Assessment of Groundwater Resources and Their environmental Issues in the West Liaohe Plain[M]. Beijing: Geological Publishing House, 62-102 (in Chinese).

- Liang Xing, Zhang Renquan, Niu Hong, Jin Menggui, Sun Ronglin. 2012. Development of the theory and research method of groundwater flow system[J]. Geological Science and Technology Information, 31(5): 143–151 (in Chinese with English abstract).
- Lin Xueyu, Chen Mengxiong, Wang Zhaoxin, Liao Zisheng, Zhang Bofu, Sun Caizhi. 2000. Groundwater Resources and Their Continuable Development in Songnen Basin[M]. Beijing: Seismological Press, 10–29 (in Chinese).
- Lou Huajun, Mao Renzhao, Xia Jun, Feng Yanfang. 2002. The study for groundwater resources system of China with three-rated appraising method of sub area[J]. Progress in Geography, 21(6): 554–563 (in Chinese with English abstract).
- Shao Jie, Li Ying, Dong Meiling, Feng Junling. 2019. Classification and characteristics of groundwater system in Yili River Valley of Xinjiang[J]. Anhui Agricultural Sciences, 47(22): 43–46 (in Chinese with English abstract).
- Songliao Water Resources Commission. 2001. Songliao Basin Water Resources Bulletin 2000[R]. Songliao Water Resources Commission, Ministry of Water Resources (in Chinese).
- The First Hydrogeological Engineering Company, Bureau of Geology and Mineral Resources of Jilin Province. 1986. Groundwater Resources Distribution Map of Northeast Economic Zone[M]. Changchun: Jilin Province Geological Mapping and Printing Center (in Chinese).
- Tóth J. 1963. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basin[J]. Journal of Geophysics Research, 68(16): 4795–4812.
- Wang Dachun, Zhang Renquan, Shi Yihong, Xu Shaozhuo, Yu Qingchun, Liang Xing. 2006. Fundamentals of Hydrogeology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 81–94 (in Chinese).
- Wang Zhanhe, Chen Tiande, Yu Desheng, Song Fengjia. 2004. Division of groundwater system of Tarim Basin[J]. Xinjiang Geology, 22(3): 262–264 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhigang, Wen Yongzuo, Dong Huimin, Cui Xinying. 2003. Songliao Basin groundwater resources[J]. Water Conservancy and Hydropower of Northeast China, 21(228): 29–31 (in Chinese).
- Wei Yiru, Li Zhijun, Dai Changlei, Chang Xiaofeng. 2019. Analysis of the division of groundwater resources assessment in Songnen Plain[J]. Water Saving Irrigation, 6: 51–66 (in Chinese).
- Yang Huifeng, Wang Guiling, Zhang Yilong. 2014. A division scheme of groundwater systems in North China[J]. Earth Science Frontiers, 21(4): 74–82 (in Chinese with English abstract).
- Yang Wen, Wang Yong, Yin Xilin, Bai Yuchun. 2005. Analysis of groundwater flow system in Sanjiang Rivers Plain[J]. Water Conservancy and Hydropower of Northeast China, 23(2): 23–25 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xiangkui. 2008. Investigation and Assessment of Groundwater Resources Potential and Eco-environment Geology in Sanjiang Plain[M]. Beijing: Geological Publishing House, 29–48 (in Chinese with English abstract).
- Yin Lihe, Zhang Jun, Wang Zhe, Dong Jiaqiu, Chang Liang, Li Chunyan, Zhang Pengwei, Gu Xiaofan, Nie Zhenlong. 2021. Groundwater circulation patterns and its resources assessment of inland river catchments in northwestern China[J]. Geology in China, 48(4): 1094–1111 (in Chinese with English abstract).
- Yi Xilin, Wang Zidong. 2004. Shallow groundwater system in Sanjiang Plain District[J]. Ground Water, 26(1): 17–37 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jun, Yin Lihe, Zhao Zhenhong. 2010. Review on Groundwater Systems[J]. Ground Water, 32(6): 27–30 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jun, Zhao Zhenghong, Yin Lihe, Wang Dong, Li Ying. 2011. Division of groundwater systems in the energy base of Inner Mongolia in Ordos basin[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 1: 57–63 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yushan, Cui Shiping, Zhang Min. 2014. Circulation features of groundwater system in Songnen Plain[J]. Jilin Geology, 33(3): 102–104 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zonghu, Li Lierong. 2004. Groundwater Resources of China (Comprehensive Volume)[M]. Beijing: SinoMaps Press, 65–114 (in Chinese).
- Zhang Zonghu, Li Lierong. 2005a. Groundwater Resources of China (Heilongjiang Volume)[M]. Beijing: SinoMaps Press, 12–65 (in Chinese).
- Zhang Zonghu, Li Lierong. 2005b. Groundwater Resources of China (Jilin Volume)[M]. Beijing: SinoMaps Press, 3–6 (in Chinese).
- Zhang Zonghu, Li Lierong. 2005c. Groundwater Resources of China (Liaoning Volume)[M]. Beijing: SinoMaps Press, 5–16 (in Chinese).
- Zhang Zonghu, Li Lierong. 2005d. Groundwater Resources of China (Inner Mongolia Volume)[M]. Beijing: SinoMaps Press, 17–62 (in Chinese).
- Zhao Haiqing. 2009. Investigation and Assessment of Groundwater Resources and Their Related Environmental Problems in the Songnen Plain[M]. Beijing: Geological Publishing House, 24–49 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yang, Wang Youlin, Du Shaoshao, Zhang Peidong, Zhang Hangbo, Zhang Hui. 2018. Division and characteristics of groundwater system in Guanzhong Basin[J]. Geological Survey of China, 5(4): 67–75 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹剑锋, 冶雪艳, 王福刚, 赵林. 2002. 河南境内黄河流域地下水系统划分与系统分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 32(3): 251–254.
- 陈立, 张发旺, 余秋生, 薛忠歧, 赵红梅, 蔺文静. 2007. 宁南地区地下水系统划分方法研究[J]. 南水北调与水利科技, 5(5): 97–99.
- 崔亚莉, 张戈, 邵景力. 2004. 黄河流域地下水系统划分及其特征[J]. 资源科学, 26(2): 2–8.

- 郭晓东, 王晓光, 刘强, 王长琪, 肖长来, 程旭学. 2021. 松花江—辽河流域地下水资源及其生态环境问题[J]. 中国地质, 48(4): 1062-1074.
- 侯光才, 林学钰, 苏小四, 王晓勇, 刘杰. 2006. 鄂尔多斯白垩系盆地地下水系统研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 36(3): 391-398.
- 黄长生, 周耘, 张胜男, 王节涛, 刘凤梅, 龚冲, 易秤云, 李龙, 周宏, 魏良帅, 潘晓东, 邵长生, 黎义勇, 韩文静, 尹志彬, 李晓哲. 2021. 长江流域地下水资源特征与开发利用现状[J]. 中国地质, 48(4): 979-1000.
- 李崇博, 褚宏宽, 宋玉, 王拓. 2016. 哈密盆地地下水系统划分及特征研究[J]. 新疆地质, 34(1): 139-143.
- 李志, 于孟文, 张丽玲. 2007. 西辽河平原地下水资源及其环境问题调查评价[M]. 北京: 地质出版社, 62-102.
- 梁杏, 张人权, 牛宏, 靳孟贵, 孙蓉琳. 2012. 地下水系统理论与研究方法的进展[J]. 地质科技情报, 31(5): 143-151.
- 林学钰, 陈梦熊, 王兆馨, 廖资生, 张勃夫, 孙才志. 2000. 松嫩盆地地下水资源与可持续发展研究[M]. 北京: 地震出版社, 10-29.
- 娄华君, 毛任钊, 夏军, 冯艳芳. 2002. 中国地下水资源系统三级分区及其在海河流域的应用[J]. 地理科学进展, 21(6): 554-563.
- 邵杰, 李瑛, 董美玲, 冯俊岭. 2019. 新疆伊犁河谷地下水系统划分及特征研究[J]. 安徽农业科学, 47(22): 43-46.
- 吉林省地质矿产局第一水文地质工程地质大队. 1986. 东北经济区地下水资源分布图[M]. 长春: 吉林省地质测绘印刷中心.
- 松辽水利委员会. 2001. 2000年松辽流域水资源公报[R]. 水利部松辽水利委员会.
- 王大纯, 张人权, 史毅虹, 许绍倬, 于青春, 梁杏. 2006. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 81-94.
- 王占和, 湛天德, 于德胜, 宋丰家. 2004. 塔里木盆地地下水系统划分[J]. 新疆地质, 22(3): 262-264.
- 王志刚, 温永左, 董惠民, 崔新颖. 2003. 松辽流域地下水资源[J]. 东北水利水电, 21(228): 29-31.
- 尉意茹, 李治军, 戴长雷, 常晓峰. 2019. 松嫩平原地下水资源评价区划分[J]. 节水灌溉, 6: 51-66.
- 杨会峰, 王贵玲, 张翼龙. 2014. 中国北方地下水系统划分方案研究[J]. 地学前缘, 21(4): 74-82.
- 杨文, 王勇, 尹喜霖, 柏伍春. 2005. 三江平原地下水流动系统的分析[J]. 东北水利水电, 23(2): 23-25.
- 杨湘奎. 2008. 三江平原地下水资源潜力与生态环境地质调查评价[M]. 北京: 地质出版社, 29-48.
- 尹立河, 张俊, 王哲, 董佳秋, 常亮, 李春燕, 张鹏伟, 顾小凡, 聂振龙. 2021. 西北内陆河流域地下水循环特征与地下水资源评价[J]. 中国地质, 48(4): 1094-1111.
- 尹喜霖, 王子东. 2004. 三江平原地区浅层地下水系统[J]. 地下水, 26(1): 17-37.
- 张俊, 尹立河, 赵振宏. 2010. 地下水系统理论研究综述[J]. 地下水, 32(6): 27-30.
- 张俊, 赵振宏, 尹立河, 王冬, 李瑛. 2011. 鄂尔多斯盆地内蒙能源基地地下水系统划分方法[J]. 工程勘察, 1: 57-63.
- 张玉珊, 崔世平, 张敏. 2014. 松嫩平原地下水系统循环特征[J]. 吉林地质, 33(3): 102-104.
- 张宗祜, 李烈荣. 2004. 中国地下水资源(综合卷)[M]. 北京: 中国地图出版社, 65-114.
- 张宗祜, 李烈荣. 2005a. 中国地下水资源(黑龙江卷)[M]. 北京: 中国地图出版社, 12-65.
- 张宗祜, 李烈荣. 2005b. 中国地下水资源(吉林卷)[M]. 北京: 中国地图出版社, 3-6.
- 张宗祜, 李烈荣. 2005c. 中国地下水资源(辽宁卷)[M]. 北京: 中国地图出版社, 5-16.
- 张宗祜, 李烈荣. 2005d. 中国地下水资源(内蒙古卷)[M]. 北京: 中国地图出版社, 17-62.
- 赵海卿. 2009. 松嫩平原地下水资源及其环境问题调查评价[M]. 北京: 地质出版社, 24-49.
- 周阳, 王友林, 杜少少, 张培栋, 张航泊, 张卉. 2018. 关中盆地地下水系统的划分与特征[J]. 中国地质调查, 5(4): 67-75.