

doi: 10.13745/j.esf.2014.04.008

中国北方地下水系统划分方案研究

杨会峰, 王贵玲*, 张翼龙

中国地质科学院 水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061

YANG Huifeng, WANG Guiling*, ZHANG Yilong

Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China

YANG Huifeng, WANG Guiling, ZHANG Yilong. A division scheme of groundwater systems in North China. *Earth Science Frontiers*, 2014, 21(4): 074-082

Abstract: Groundwater system is a research hotspot in hydrogeology. There is no clear definition and unified understanding of its meaning in academia till now. Different scholars put different emphases on the understanding of the concept and divided the groundwater systems according to different criteria, leading to the different results, which have caused the confusion in its application. Based on the concept of groundwater flow system, a clear concept of the groundwater system was redefined. We summarized the principles and bases of the groundwater system division; the primary division basis is groundwater flow system(different levels)under natural conditions; and the important foundation for judging hydraulic connection and internal structure of groundwater flow system is the aquifer system. In this paper, we put forward a scheme of groundwater system division in northern China, and divide it into 4 groundwater areas, 10 first scale systems and 56 subsystems. The division of the groundwater areas is mainly based on the combination of adjacent groundwater basins which have the same characteristics of groundwater circulation at a large regional scale; the division of the first scale groundwater systems is based on the regional groundwater flow system and groundwater flow direction; and the division of the subsystems is based on the subarea of regional groundwater flow system, which are affected by subbasins. The results provide a scientific basis for the evaluation and management of the regional groundwater resources, and a research frame for groundwater and environmental issues in northern China.

Key words: groundwater system; groundwater flow system; division bases; division scheme; North China

摘 要:地下水系统是水文地质学的研究热点之一。学术界对“地下水系统”的概念尚没有明确和统一的认识,不同学者对“地下水系统”的理解各有侧重,划分依据与标准不一,划分结果各异,故在应用上常造成混乱。文中基于地下水流系统的概念,归纳了地下水系统划分的原则和依据,认为地下水系统划分应以自然状态不同级别的地下水流系统为首要依据,以含水层系统为判断水力联系和流动系统内部结构的重要基础,提出了一套划分中国北方地下水系统的方案,将其划分为 4 个地下水系统区块、10 个一级地下水系统和 56 个二级地下水系统。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)的组合体划分;一级地下水系统主要依据盆地(流域)尺度的区域地下水流系统和区域地下水流向划分;二级地下水系统主要依据区域水流系统的分区特征(受次级盆地或次级流域控制)划分。这一方案为中国北方区域地下水资源评价、地下水资源管理、地下水与环境等相关问题的研究提供地下水系统的框架基础。

关键词:地下水系统;地下水流系统;划分依据;划分方案;中国北方

中图分类号:P641.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2321(2014)04-0074-09

收稿日期:2013-12-11;修回日期:2014-03-20

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“全国地下水资源及其环境问题综合评价及专题研究”(1212010534801)

作者简介:杨会峰(1977—),男,博士,助理研究员,水文地质专业,主要从事地下水循环研究。E-mail:yanghuifeng06@163.com

* 通讯作者简介:王贵玲(1964—),男,研究员,主要从事水文地质环境地质相关研究。E-mail:guilingw@163.com

0 引言

20 世纪 60 年代以前,主导水文地质学研究的是“含水层系统”概念,不太重视大区域尺度中地下水垂向运动的作用。1963 年,Tóth 撰文阐述了复杂盆地剖面地下水流系统的结构特征^[1],到 20 世纪 80 年代,提出了重力穿层流动,认为地下水在重力驱动下自组织地形成嵌套式多级次水流系统,将流动系统理论推广到非均匀介质场,打破了地下水只限于在某些含水层流动的观念,地下水流系统的理论框架基本成型^[2]。1986 年、1996 年,Engelen 进一步分析了地下水流系统的物理机制,对地下水流系统的研究方法和应用做了系统总结^[3-4]。1999 年、2009 年,Tóth 指出流动的地下水是一种普遍的地质营力,以自组织的地下水流系统模式,控制着与地下水有关的各种自然现象和自然作用的空间有序分布^[5-6]。我国 20 世纪 80 年代后期引入“地下水系统”概念。陈梦熊院士对地下水系统的概念、理论及研究方法进行了总结,认为:每个地下水系统都具有各自的特征与演变规律,包括各自的含水层系统、水循环系统、水动力系统、水化学系统^[7-8]。梁杏对地下水流系统理论与研究方法进行了系统总结,提出重视地下水流系统理论物理机制和数学模拟方法研究,加强新技术方法引入,拓宽应用领域研究等发展方向^[9]。

然而,迄今为止,学术界对“地下水系统”的概念尚没有明确和统一的认识,常出现“地下水系统”、“含水层系统”、“地下水流系统”等不同的术语。在实际应用中,尤其是在确定地下水系统划分依据时,三者常常混合使用。不同学者对地下水系统理解的差异,导致划分依据及相应的划分结果均有较大差别,难以进行对比和甄别。

水文地质分区是地下水系统划分和相关研究的基础。我国水文地质学者从不同的角度出发,对中国区域水文地质分区进行了深入研究,编制了各种用途的区域水文地质图,服务于社会和国民经济发展,成绩斐然。1958 年原地质部水文地质工程地质局、1959 年原地质部水文地质工程地质研究所,按照气候、地貌及含水岩性等影响潜水分布的自然条件进行了中国水文地质分区;1979 年张宗祜院士编制了《中华人民共和国水文地质图集》、1991 年编制了《亚洲水文地质图》,两者都是按照含水介质特征对含水岩系进行分类^[10];2004 年张宗祜院士采用地

貌、含水岩系、大河流域作为水文地质分区指标,进行了全国水文地质分区^[11];2011 年曹文炳等采用气候、地貌、含水岩系、富水性等指标,进行了中国水文地质分区^[12]。以往相关研究多是在气候分区基础上,以影响含水岩系形成和分布的地质地貌条件进行划分,本次分区块时首先综合判断影响区域地下水流系统的构造、地貌、水系、气候等各要素的强弱关系,按主要影响要素,辅以考虑其他要素综合划分,把具有相似的区域水循环特征且在地域上临近盆地或流域划分为同一地下水系统区块。

近几十年来,很多学者对塔里木盆地^[13]、河西走廊^[14-17]、黄河流域^[18-19]、鄂尔多斯盆地^[20-21]、关中盆地^[22]、松嫩盆地^[23]、三江平原^[24]、华北平原^[25-26]、海河平原^[27]等地区进行过地下水系统划分,由于对地下水系统概念理解各有侧重,划分依据与标准不统一,划分结果各异,很难比对。本文在综合以往研究成果的基础上,明确以地下水流系统为基本概念,归纳了不同级别地下水系统划分原则和依据,提出划分中国北方地下水系统的一套方案。

1 地下水系统划分原则

通过对国内外地下水系统已有研究成果进行综合分析,笔者认为地下水系统本质上就是地下水流系统,不同级别的地下水流系统是地下水系统划分的首要依据。地下水系统研究应该包括含水层系统和地下水流系统两部分。含水层系统主要界定介质特征,是地下水系统划分的重要基础。地下水流系统主要用于界定地下水的补给、排泄和渗流场的统一性。系统之间是否具有水力联系或水力联系强弱是划分系统最为关键的因素,水力联系可以把不同含水层的地下水纳入到一个整体的流动系统之中。

地下水系统划分应遵循以下原则:以自然状态不同级别地下水流系统为首要依据,以含水层系统为判断水力联系和流动系统内部结构的重要基础。只有在进行地下水系统管理模型研究时,在地下水自然系统的基础上考虑人类活动的影响。另外,在垂向上应分别考虑浅层水和中深层承压水。

2 地下水系统划分依据

2.1 地下水系统区块划分依据

地下水系统区块是指在特大区域尺度上具有相似

水循环特征且在地域上毗邻的一级地下水系统组合体。区块内的地下水循环特征具有一定的共性,受宏观构造单元、地貌格局、一级地表水流域等因素控制。

一级构造单元之间常常为阻水的深大断裂,区内地下水与外界不产生水量和水质交换,是划分地下水系统区块的重要依据之一。另外,大地构造对区域地下水循环控制作用通过控制其地貌、气候和地表水系来体现,由构造作用形成的独立的地貌单元、气候分带以及地表水流域对区域地下水循环也有着重要的影响作用。

宏观地貌格局对区域地下水循环具有明显的控制作用。大型的高原、丘陵、盆地和平原之间,通常以高大山脉相连接,这些山脉常构成地表或地下分水岭,由于山体的阻挡,不同地貌单元之间基本上不能通过边界产生物质和能量的交换,形成各自独立的区域水循环体系,也是划分地下水系统区块的一个重要依据。

一级地表水系(如黄河、长江)与地下水的关系极为密切,既可以构成地下水的补给基准、也可以形成地下水的排泄基准,对区域水循环尤其是对区域地下水系统的输入和输出有着明显的控制作用。此外,一级地表水流域之间常以高大山脉形成地表或地下分水岭,山脉两侧的地下水基本不发生水量和水质的交换,形成各自独立区域水循环体系,是划分地下水系统区块的一个重要依据。

气候分带对地下水系统的输入和输出也有着重要控制作用。在不同气候分带内,地下水的补给、排泄方式有很大差异,地下水的循环特征各不相同,划分地下水系统区块也要考虑气候分带特征。

2.2 地下水系统划分依据

2.2.1 一级系统

一个地下水系统区块内包含若干个规模相当的盆地或一级流域,每个盆地或流域内都有各自独立、完整的水循环体系,与相邻盆地或流域之间没有物质和能量交换,具有独立性,可划分为若干个一级地下水系统。

一级地下水系统主要依据区域地下水流系统和区域地下水流向进行划分:西北地区以盆地周边山区到盆地中心排泄区的区域水流系统划分;黄河中游地区以四周山地到黄河及其支流排泄基准的区域水流系统划分;华北地区以西、北、南三侧山区到滨海排泄基准的区域水流系统划分;东北地区以周边山区到低平原区排泄基准的区域水流系统划分。

一级地下水系统应该满足以下几方面条件:具有一定的规模和空间范围;具有独立完整的区域水循环体系;系统内水动力特征、水化学特征符合区域水循环规律;系统之间不通过边界产生物质和能量交换;要位于同一构造单元内;以盆地或一级流域为划分的基本单元,盆地分水岭或一级流域分水岭是系统主要的边界类型。

2.2.2 二级系统

一级地下水系统内部可包含若干个规模相当的次级盆地或次级流域,它们与邻近的次级盆地或流域之间没有或只有少量的物质和能量交换,地下水循环和演化相对独立,可进一步划分出若干个二级地下水系统。

二级地下水系统主要依据区域水流系统的分区特征划分。在一级地下水系统的宏观区域水流系统内,受次级盆地或次级流域控制,在平面上常常存在一系列区域水流系统分区,如西北地区每一个大盆地常包含一系列次级盆地,每个次级盆地都存在从山区到盆地排泄基准的区域水流系统,形成一系列区域水流系统分区;东北地区在一级地表流域内常发育一系列的二级地表流域,每个二级流域也具有从山区到平原排泄基准的区域水流系统;华北地区在西、北、南三侧山地向滨海的区域水流系统内包含了滦河、海河、淮河等流域,每个流域都形成各自从山区向滨海排泄基准的区域水流系统分区;黄河中游地区包含若干个盆地,每一个盆地都存在从山区分水岭向黄河及其支流等排泄基准的区域水流系统。

二级地下水系统划分遵循以下几方面:具有相对独立和完整的区域地下水循环体系;系统内水动力特征、水化学特征符合区域水循环规律;与邻近的地下水系统没有或只有少量的物质和能量交换;以次级盆地或次级地表流域为划分基本单元;在一级地下水系统边界的基础上,次级盆地或次级流域的分水岭是二级地下水系统的主要边界类型。

2.2.3 三级系统

受更次一级地貌和地表水系的影响,二级地下水系统内部可包含若干个规模相当的三级盆地或流域,它们与邻近的地下水系统有少量的物质和能量交换,地下水循环相对独立,可划分出若干个三级地下水系统。

三级地下水系统划分遵循以下几方面:主要依据中间水流系统划分;具有相对完整的次级地下水循环体系;与邻近的地下水系统有少量的物质和能

量交换;以三级盆地或三级地表流域作为系统划分的基本单元。

3 中国北方地下水系统划分

根据上述各级地下水系统的划分依据,综合考虑地质构造、地貌、地表水系以及气候等影响因素,重点分析地下水流系统和含水层系统特征,对中国北方地下水系统进行划分。

首先在中国北方划分出黑龙江—松辽地下水系统区块、黄淮海流域地下水系统区块、西北内陆盆地地下水系统区块和蒙北高原地下水系统区块。各个区块内划分若干一级地下水系统,又进一步划分出二级地下水系统,详见表1、图1。

黑龙江—松辽地下水系统区块划分以地表流域为主,同时考虑宏观地貌格局。该区块主要由周边山地和中间嵌套的松嫩平原、辽河平原、三江平原组成,黑龙江、松花江、辽河分别穿过三个平原,形成三大地表流域,地下水主要接受各自流域分水岭以内降水、地表水及基岩裂隙水补给,向各自流域内低平原区或平原中间的河谷区径流,最终通过河流排泄出区外,形成三个具有相似区域水循环特征且在地域上毗邻的地下水系统,划分为独立的地下水系统区块。该区块北界为雅布洛诺夫山脉和斯塔诺夫山脉^[25],东界为锡霍特山脉,南界为辽东半岛海岸线及燕山山脉,西边界为大兴安岭山脉,西南边界为克鲁伦河分水岭。

黄河流域及海河—淮河流域地下水系统区块划分以地表流域为主,同时考虑宏观构造地貌格局。黄河上游地区,地表水与地下水交换频繁,对地下水循环影响大,地表分水岭与地下分水岭基本一致,依

照地表流域范围来确定系统区块边界;黄河中、下游及淮河、海河、滦河流域在构造上属于阴山—燕山褶皱带与秦岭褶皱系之间的中朝准地台,为一完整的构造单元,其在地貌上主要包括鄂尔多斯黄土高原和黄淮海平原,由于黄河穿越,影响着地下水的补给和排泄,使两个地貌单元地下水具有一定的水力联系,形成了一个统一的地下水系统区块。该区块北界为阴山—燕山山脉,南界为秦岭及大别山,东界为海岸线,西界为贺兰山脉及昆仑山东段。

西北地区在昆仑褶皱带、祁连褶皱带、天山褶皱带、阿尔泰—蒙古南戈壁褶皱带之间嵌套着塔里木、柴达木、准噶尔以及河西走廊四个构造盆地,盆地周边基本都为高山,地下水资源起源于山区降水和融雪,以地表或地下径流形式汇入盆地平原,经多次转化,最终消耗于盆地中心的沙漠地带。这几个盆地在地域上毗邻,具有相似的构造地貌和区域水循环特征,划为一个独立的地下水系统区块。该区块北界为阿尔泰山和蒙古国的戈壁阿尔泰山,南界为昆仑山脉,东界为贺兰山脉,西界为帕米尔高原及哈萨克丘陵。

蒙古高原处于阿尔泰—南戈壁褶皱带、内蒙古阴山褶皱带、大兴安岭褶皱带及蒙古国杭爱山褶皱带之间,为一独立的构造单元。蒙古高原除西北部为孔隙含水层外,其他大部分地区为裂隙含水层,富水性很差^[28]。区内地下水补给来源主要为山区地表水、沟谷潜流及基岩裂隙水,总体流向是由山区、丘陵区向洼地、湖泊汇集,形成独立完整区域水循环体系。根据构造地貌和区域水循环特征,划分为一个独立的地下水系统区块。该区块西以阿尔泰山脉为界,南界为戈壁阿尔泰山脉和阴山山脉,东界为大兴安岭山脉,北界为杭爱山脉。

表1 中国北方地下水系统划分一览表

Table 1 A schedule of groundwater systems in North China

地下水系统区		一级地下水系统		二级地下水系统	
代号	名称	代号	名称	代号	名称
A	黑龙江—松辽地下水系统区块	A01	黑龙江—乌苏里江流域一级地下水系统	A01A	黑龙江流域中上游二级地下水系统
				A01B	乌苏里江流域中上游二级地下水系统
				A01C	三江平原二级地下水系统
				A01D	呼伦湖流域二级地下水系统
		A02	松嫩盆地一级地下水系统	A02A	嫩江流域二级地下水系统
				A02B	松花江流域二级地下水系统
				A02C	第二松花江流域二级地下水系统
		A03	辽河流域一级地下水系统	A03A	鸭绿江流域二级地下水系统
				A03B	下辽河流域二级地下水系统
				A03C	东辽河—西辽河流域二级地下水系统

(续表 1)

地下水系统区		一级地下水系统		二级地下水系统	
代号	名称	代号	名称	代号	名称
B	黄河流域及海河—淮河流域地下水系统区块	B01	黄淮海平原一级地下水系统	B01A	滦河流域二级地下水系统
				B01B	海河流域二级地下水系统
				B01C	古黄河河道带及鲁西北平原二级地下水系统
				B01D	淮河流域二级地下水系统
				B01E	胶东半岛二级地下水系统
		B02	鄂尔多斯盆地及周边高原一级地下水系统	B02A	陇西黄土高原二级地下水系统
				B02B	兰州—银川盆地二级地下水系统
				B02C	河套盆地二级地下水系统
				B02D	鄂尔多斯盆地二级地下水系统
				B02E	汾河盆地二级地下水系统
				B02F	关中盆地二级地下水系统
				B02G	三门峡—洛阳黄河干流二级地下水系统
				B02H	伊洛河盆地二级地下水系统
				B02I	沁水盆地二级地下水系统
		B03	黄河源区一级地下水系统	B03A	大通河—湟水河流域二级地下水系统
				B03B	扎、鄂陵湖流域二级地下水系统
				B03C	洮河流域二级地下水系统
C	西北内陆盆地地下水系统区块	C01	河西走廊一级地下水系统	C01A	乌兰呼海—潮格旗低山丘陵二级地下水系统
				C01B	吉兰泰盆地二级地下水系统
				C01C	石羊河流域二级地下水系统
				C01D	黑河流域二级地下水系统
				C01E	明水山地二级地下水系统
				C01F	马莲井盆地二级地下水系统
				C01G	疏勒河流域二级地下水系统
		C02	准噶尔盆地一级地下水系统	C02A	额尔齐斯河流域二级地下水系统
				C02B	乌伦古河流域二级地下水系统
				C02C	玛纳斯河流域二级地下水系统
				C02D	艾比湖流域二级地下水系统
				C02E	塔城盆地二级地下水系统
				C02F	伊宁盆地二级地下水系统
				C02G	巴里坤—伊吾盆地二级地下水系统
		C03	柴达木盆地—青海湖一级地下水系统	C03A	阿其克库勒湖—阿牙克库木湖流域二级地下水系统
				C03B	柴达木南盆地二级地下水系统
				C03C	柴达木北盆地二级地下水系统
				C03D	柴达木西盆地二级地下水系统
				C03E	青海湖—哈拉湖流域二级地下水系统
		C04	塔里木盆地一级地下水系统	C04A	焉耆盆地二级地下水系统
				C04B	吐鲁番—哈密盆地二级地下水系统
				C04C	孔雀河流域二级地下水系统
				C04D	渭干河—迪那河流域二级地下水系统
				C04E	阿克苏河流域二级地下水系统
				C04F	叶尔羌河—喀什噶尔河流域二级地下水系统
				C04G	塔里木河流域二级地下水系统
				C04H	和田河—克里雅河流域二级地下水系统
				C04I	车尔臣河流域二级地下水系统
				C04J	塔克拉玛干沙漠二级地下水系统
D	蒙古高原地下水系统区块				

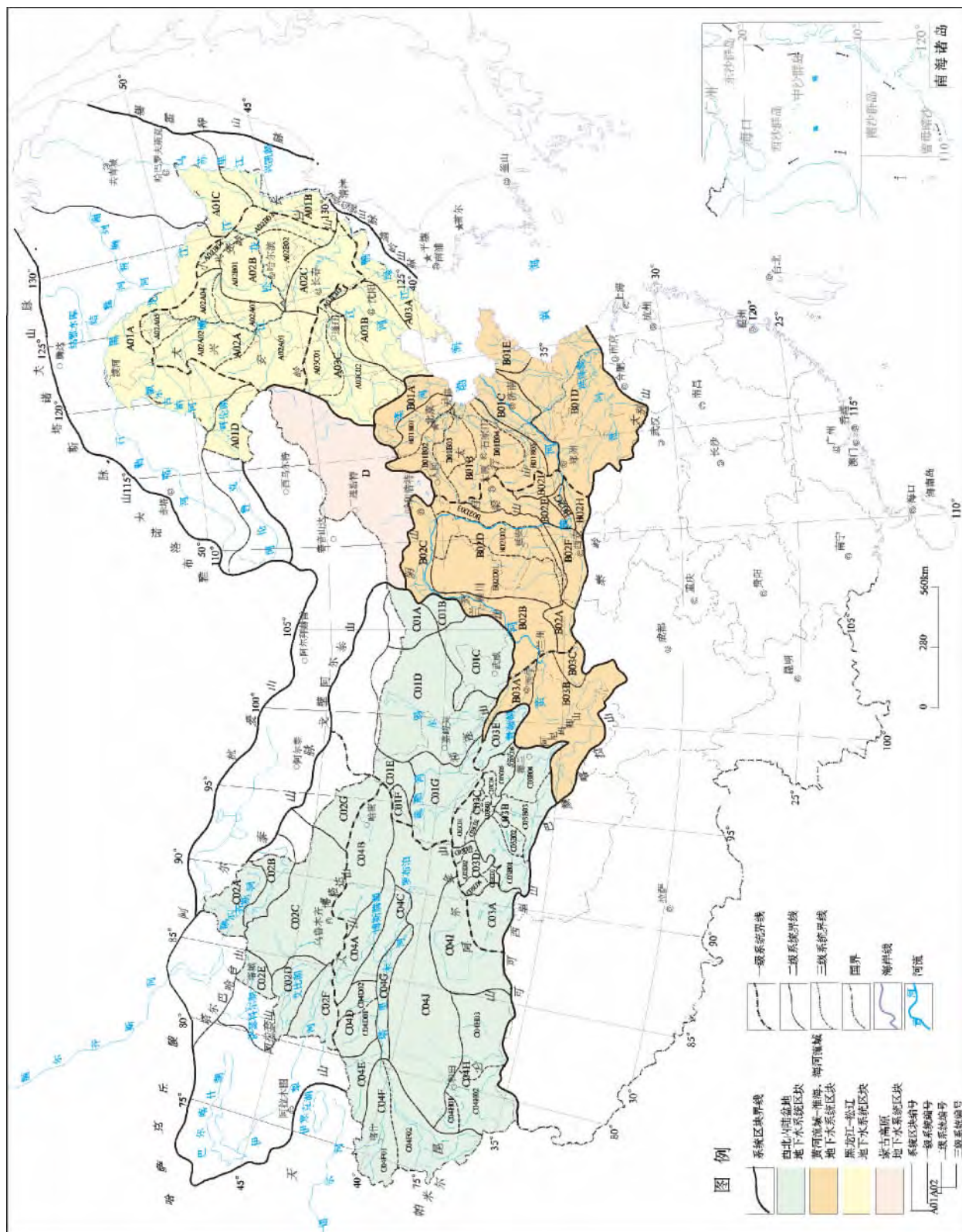


图1 中国北方地下水系统划分

Fig.1 A division of groundwater systems in North China

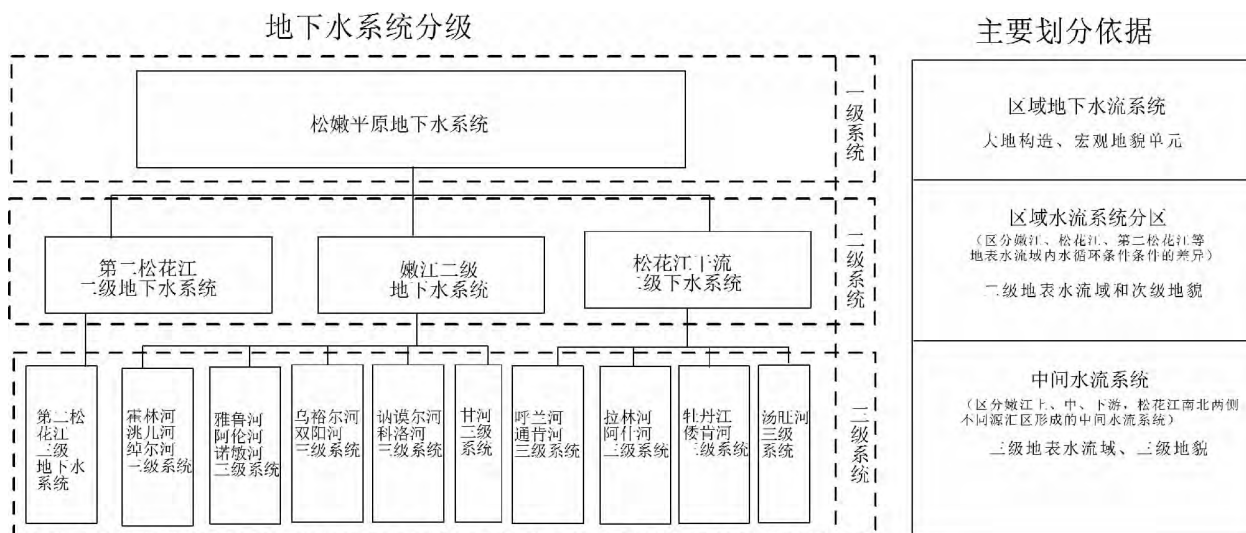


图2 松嫩盆地地下水系统划分依据

Fig. 2 The division bases of groundwater systems in Songnen Basin

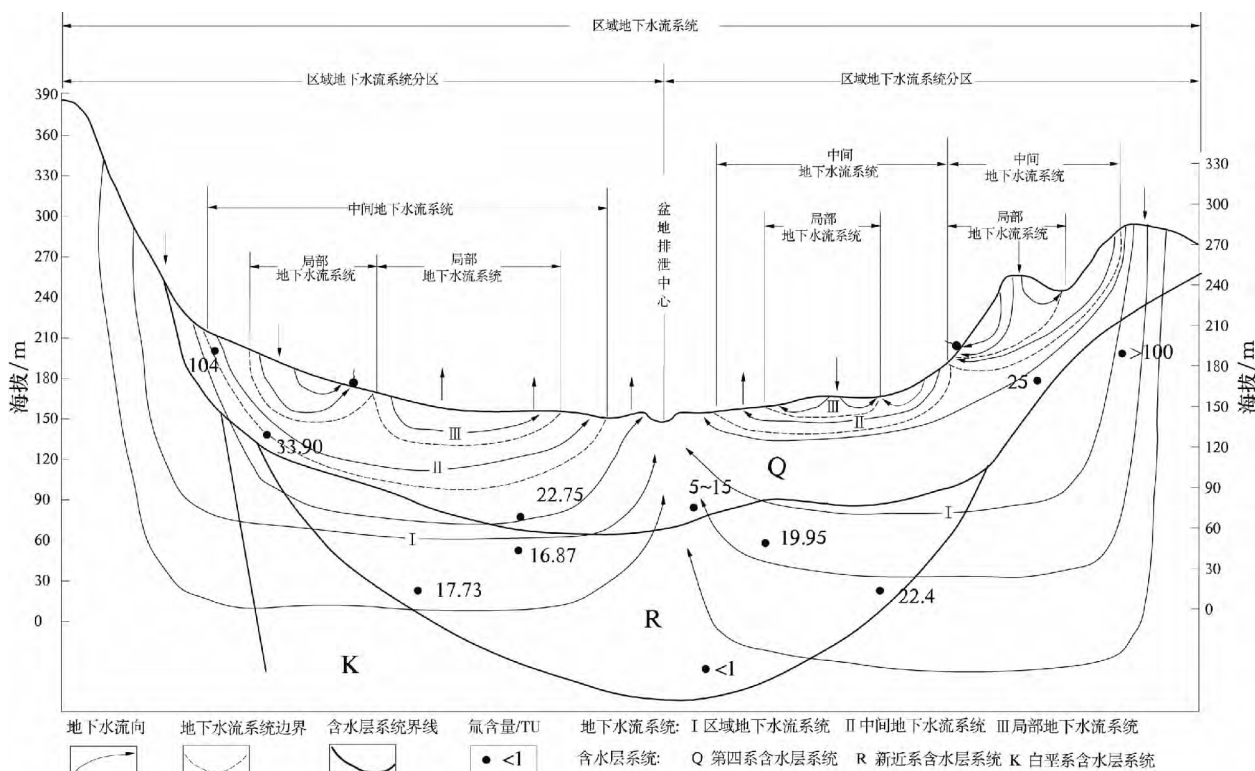


Fig. 3 Groundwater flow systems in Songnen Basin

4 典型地区地下水系统分析

以松嫩盆地为典型地区,进一步分析各级地下水系统划分的主要依据及系统特征。松嫩盆地一级

地下水系统主要依据区域水流系统划分。盆地东、北、西三面环山,中间低平,地下水主要从周边山地获得降水和地表水入渗补给,向低平原径流,通过松花江河谷流出区外,形成了典型的山区补给-低平原及盆地中心河谷排泄的区域水流系统,据此划分一

级地下水系统。系统西界为大兴安岭地表分水岭,东以小兴安岭、青黑山、长白山分水岭为界,北界是嫩江与黑龙江分水岭,南界为松嫩盆地与辽河平原分水岭,面积 53.4 万 km²。

二级地下水系统主要依据区域水流系统分区划分。松嫩盆地地下水分别由东、北、西三面山区向低平原控制水系基准面径流,低平原区嫩江、第二松花江和松花江下游分别形成各自流域内地下水的排泄基准,形成三个从山区到盆地不同排泄基准的区域地下水流系统分区,据此划分二级地下水系统。嫩江二级地下水系统西以大兴安岭地表分水岭为界,南界为松嫩平原与西辽河平原之间的松辽分水岭,东边界为乌裕尔河、嫩江与通肯河、呼兰河分水岭及第二松花江与嫩江分水岭,北部为伊勒呼里山地表分水岭,东北边界为小兴安岭分水岭,面积 27.8 万 km²。松花江二级地下水系统东界为长白山、太平岭地表分水岭,西界为通肯河、呼兰河与嫩江分水岭,南界为拉林河与第二松花江分水岭,北界为小兴安岭地表分水岭,面积 17.1 万 km²。第二松花江二级地下水系统西界南段是第二松花江与东辽河地下分水岭,北段是嫩江和第二松花江在浅丘状砂砾石台上的分水岭;东南边界为威虎岭、牡丹岭及长白山西南段分水岭;东北部以第二松花江和拉林河地下分水岭为界,面积 8.5 万 km²。

三级地下水系统主要依据二级系统内中间水流系统划分。嫩江二级地下水系统内受洮儿河、雅鲁河、乌裕尔河、讷谟尔河、甘河等次级地表水流域控制,形成五个中间水流系统,划分为五个三级地下水系统。松花江干流二级地下水系统,在松花江河谷以北,受呼兰河—通肯河、汤旺河次级地表流域和地貌控制,地下水分别从呼兰河—通肯河、汤旺河周边的分水岭向各河谷方向径流,形成两个相对独立的中间水流系统;在松花江河谷以南,受拉林河—阿什河、牡丹江次级地表水流域控制,地下水分别从拉林河—阿什河、牡丹江周边的分水岭向各自河谷方向径流,也形成两个相对独立的中间水流系统,据此划分四个三级地下水系统。四级地下水系统在三级系统的基础上,根据局部水流系统和含水层结构差异进一步划分。各级地下水系统划分依据详见图 2、图 3。

5 结语

(1)地下水系统划分的概念基础是地下水流系

统,指由源到汇流面群构成的,具有统一时、空演变过程的地下水水体。

(2)地下水系统划分应以自然状态不同级别的地下水流系统为首要依据,并以含水层系统作为判断水力联系和流动系统内部结构的重要基础。

(3)中国北方地区可以划分为 4 个地下水系统区块,并进一步划分为 10 个一级地下水系统、56 个二级地下水系统。

中国地质大学(北京)王旭升教授在百忙中仔细阅读了全文,并就文中不足之处给予了指正,谨在此表示诚挚的谢意!

参考文献

- [1] Tóth J. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basin[J]. Journal of Geophysics Research, 1963, 68 (16): 4795-4812.
- [2] Tóth J. Cross-formation gravity flow of groundwater: A mechanism of the transport and accumulation of petroleum (The generalized hydraulic theory of petroleum migration) [C]//Roberts W H, Cordell J. Problems of Petroleum Migration. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 1980: 121-167.
- [3] Engelen G B, Jones G P. Developments in the Analysis of Groundwater Flow Systems[M]. Wallingford, Oxfordshire, UK: IAHS Press, 1986: 1-356.
- [4] Engelen G B, Kloosterman F H. Hydrological Systems Analysis: Methods and Applications[M]. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996: 5-46.
- [5] Tóth J. Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations [J]. Hydrogeology Journal, 1999, 7(1): 1-14.
- [6] Tóth J. Gravitational System of Groundwater: Theory, Evaluation, Utilization[M]. New York: Cambridge University Press, 2009: 26-127.
- [7] 陈梦熊, 马凤山. 中国地下水资源与环境[M]. 北京: 地震出版社, 2002: 385-417.
- [8] 陈梦熊, 许志荣. 地下水系统的基本概念与研究方法[G]//陈梦熊, 许志荣. 地下水系统研究论文选编. 郑州: 河南省地质矿产局环境水文地质总站, 1984: 1-13.
- [9] 梁杏, 张人权, 牛宏, 等. 地下水流系统理论与研究方法的发展[J]. 地质科技情报, 2012, 31(5): 143-150.
- [10] 张宗祜, 李烈荣. 中国地下水资源与环境图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 2004.
- [11] 中国地质科学院水文地质环境地质研究所. 亚洲水文地质图[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [12] 曹文炳, 万力, 胡伏生. 中国区域水文地质[M]. 北京: 地质

- 出版社, 2011: 34-36.
- [13] 王占和, 谌天德, 于德胜, 等. 塔里木盆地地下水系统划分[J]. 新疆地质, 2004, 22(3): 263-264.
- [14] 李文鹏, 周宏春, 周仰效, 等. 中国西北典型干旱区地下水流系统[M]. 北京: 地震出版社, 1995: 21-42.
- [15] 刘少玉, 卢耀如, 程旭学, 等. 黑河中、下游盆地地下水系统与水资源开发的资源环境效应[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(4): 90-96.
- [16] 武选民, 史生胜, 黎志恒, 等. 西北黑河下游额济纳盆地地下水系统研究(上)[J]. 水文地质工程地质, 2002(1): 16-20.
- [17] 武选民, 史生胜, 黎志恒, 等. 西北黑河下游额济纳盆地地下水系统研究(下)[J]. 水文地质工程地质, 2002(2): 30-33.
- [18] 崔亚莉, 张戈, 邵景力. 黄河流域地下水系统划分及其特征[J]. 资源科学, 2004, 26(2): 3-6.
- [19] 曹剑锋, 冶雪艳, 王福刚, 等. 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, 2002, 32(3): 251-254.
- [20] 侯光才, 林学钰, 苏小四, 等. 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, 2006, 36(3): 394-396.
- [21] 王德潜, 刘祖植, 尹立河. 鄂尔多斯盆地水文地质特征及地下水系统分析[J]. 第四纪研究, 2005, 25(1): 6-14.
- [22] 张茂省, 朱立峰, 王晓勇. 关中盆地地下水系统分析与地下水资源可持续开发利用对策[J]. 第四纪研究, 2005, 25(1): 15-22.
- [23] 林学钰, 陈梦熊, 王兆馨, 等. 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, 2000: 23-26.
- [24] 杨文, 王勇, 尹喜霖, 等. 三江平原地下水流动系统的分析[J]. 东北水利水电, 2005, 23: 23-26.
- [25] 张宗祜, 施德鸿, 任福弘, 等. 论华北平原第四系地下水系统之演化[J]. 中国科学: D 辑, 1997, 27(2): 168-173.
- [26] 徐恒力, 肖国强, 李红. 人为活动条件下河北平原第四系地下水系统的演变[J]. 地质科技情报, 2002, 21(1): 7-13.
- [27] 张光辉, 费宇红, 刘克岩, 等. 海河平原地下水演化及对策[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 41-42, 54-58.
- [28] 张发旺, 程彦培, 董华, 等. 亚洲地下水系列图[M]. 北京: 中国地图出版社, 2013.

EI 收录刊物《地学前缘》开辟“优秀论文快速刊发通道”

尊敬的作者:

为使地学领域重大创新成果及重要发现能以最快速度发表,《地学前缘》自 2013 年 4 月 15 日起开辟“优秀地学科技论文快速刊发通道”。列入《地学前缘》“快速刊发通道”的论文将于 10~30 日内在中国知网网上发表,30~90 日内转为纸质出版。欢迎投稿并在投稿时注明申请进入快速刊发通道的理由。

投稿网址:<http://www.earthsciencefrontiers.net.cn>

若投稿系统运行不畅,请联系编辑部。电话:010-82322973, E-mail:frontier@cugb.edu.cn

投稿注意事项:

1. 请推荐 1~4 名审稿人,并告知具体联系方式。
2. 请按《地学前缘》格式排版,但不需双栏排。文中要求的各项内容要全,不要漏掉英文题名及英文图表名。
3. 写好中英文摘要,要完整精练地表达文章重要内容,不能空泛简短。
4. 每图最终提供*.tif 格式及*.cdr 或*.eps 格式单独图文件,照片或图版需提供照片文件(JPG、TIF 等格式),精度不低于 300dpi,图内汉字用华文中宋,数字和英文字母用 Times New Roman 体(字号一般为 7.8 磅或 6 号)。
5. 寒暑假投稿请加强与编辑部的联系。