

基于遥感技术的北京西山岩溶水系统划分

曹颖¹, 王宏斌¹, 王强强¹, 李良景¹, 纪轶群²

(1.北京市地质研究所,北京 100120; 2.北京市水文地质工程地质大队,北京 100195)

摘要:岩溶水是北京地下水重要组成部分,对岩溶水系统进行划分有利于针对各岩溶水系统的特征,采用相应的评价方法、开发方式和保护措施。以2011年SPOT5遥感图像为基础数据,经过前期图像预处理,对地质构造、地形地貌、地表沟系等对岩溶含水层起约束作用的因子进行遥感图像解译和信息提取;结合野外调查修正,和已有工作基础,得到各解译信息的空间分布特征,通过分析各因子与岩溶发育的关系,对北京西山地区岩溶水系统进行二级划分,共划分一级系统4个,二级系统5个。同时,与以往划分结果进行了对比分析,以期对西山地区的岩溶水开发利用、研究提供技术支持。

关键词:岩溶水系统;遥感;系统划分;北京西山

中图分类号:P641.6

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)06-0057-04

北京地区岩溶地层分布面积4900km²,约占全市国土面积的30%^[1],这些地层经过漫长的地质作用,形成了相互连通的岩溶水储存空间,岩溶水是北京地下水的重要组成部分。岩溶水系统是一个错综复杂,受天然因素、人为因素所控制,具有不同等级且相互关联和影响的若干独立单元的统一体,这些单元在时间和空间上具有各自特征,而且处于不断的变化运动中^[2]。区域内的供水水文勘查工作从20世纪60年代开始,对岩溶水系统的划分已有初步的认识^[3-6],已有的岩溶水系统划分结果是在广泛收集前人对研究区水文地质条件研究成果的基础之上。本研究利用遥感宏观、快速,信息量丰富的技术优势,综合考虑地质构造、地形地貌、土地利用等对岩溶水系统划分的影响,对北京西山地区的岩溶水系统进行综合划分。

1 研究区与数据源

1.1 研究区概况

研究区为北京西部,西界与河北省交界,北东以南口—孙河断裂为界,东南以黄庄—高丽营断裂为界(115°24'~116°25'E, 39°30'~40°21'N),包含房山、门头沟以及昌平西部的部分地区,总面积为4160km²。研究区地貌类型以中低山为主,属典型暖温带半湿润大陆性季风气候,主要河流水系分属海河水系的大清河、永

定河和北运河流域,主要河流有拒马河、大石河、永定河、大清河等。

1.2 遥感数据与预处理

采用2011年获取的SPOT5卫星遥感数据,分别对全色和多光谱数据进行了正射纠正、全色波段与多光谱波段融合以及彩色合成等预处理,所制作的图像,信息丰富、清晰,适合遥感解译与野外调查工作,能够满足精度要求。

2 研究方法

2.1 节理裂隙信息提取

地层岩性和地质构造是岩溶发育和岩溶水赋存的基础和前提。地层岩性信息主要依据研究区区域地质调查成果。研究区构造解译主要有两个方面,一方面是实测和推测的断裂构造,其解译主要依靠搜集到的1:5万地质图和野外实地调查资料;另一方面的线性构造是通过影像特征解译出来的节理裂隙线性构造,一般为直线或小弧度的曲线。遥感影像上表现为线性影像,基本表现形式有两种,一是线性的色调异常,即线性的色调与两侧岩层色调都明显不同,二是两种不同色调的分界面呈线状延伸。此外,地貌和水系等周围环境的变化也是解译的重要依据,如河谷、山脊呈直线状延伸或被切割;冲积—洪积扇群的顶端

收稿日期:2014-09-08

基金项目:北京岩溶水资源勘查评价工程项目(BJYRS-KC-02-01)05TCYA005

作者简介:曹颖(1983-),女,河北秦皇岛人,高级工程师,博士,主要从事北京地下水调查与研究。E-mail:cy_998@163.com

处于同一直线(或弧线)上(如南口山前断裂);河谷异常平直或呈锐角急转弯;地下水溢出点位于同一直线上;锯齿状或者“之”字型河谷等。

2.2 地表沟系信息提取

对研究区地表水信息的提取分为河流、水库、沟系等。河流与水库在遥感图像上为黑、深蓝或墨绿色调,清晰可见,几何特征明显,影像结构均一,解译标志清晰。依据数字高程模型,运用水文分析对研究内河流沟系进行计算机自动提取,虽然该方法提取速度较快、且工作量较小,但是提取结果中大批沟系存在平行线,不能满足设计中精度要求,因此后期主要通过人机交互目视解译进行了修正和补充。

2.3 地形信息提取

坡度的提取主要利用数字高程模型数据对工作区坡度进行计算,参照国际地理学联合会地貌调查与地貌制图委员会对坡度的分级方法,结合工作区的地形地貌特点,将坡度分为 $0\sim 0.5^\circ$ 、 $0.5\sim 2^\circ$ 、 $2^\circ\sim 5^\circ$ 、 $5^\circ\sim 15^\circ$ 、 $15^\circ\sim 35^\circ$ 、 $>35^\circ$ 共6个等级。

以地形特征(DEM和坡度)和遥感影像特征为判释基础,以采用目视解译为主的方法进行地貌信息提取。首先依据高程和坡度的大小划分为中山、低山、丘陵、台地四种类型,将地层解译中碳酸盐岩的范围与之叠加,进而解译出岩溶地貌,作为岩溶水系统划分的重要依据。

3 调查结果与分析

3.1 岩性与构造特征

岩溶区主要地层为中新元古界长城系高于庄组,蓟县系杨庄组、雾迷山组、铁岭组,青白口系景儿峪组,以及早古生代的寒武系、奥陶系^[7-9]。虽然同为碳酸盐岩,但中新元古界碳酸盐岩主要为白云岩,其成份以碳酸镁为主,而古生代的寒武、奥陶系碳酸盐岩主要为灰岩,以碳酸钙为主,二者钙镁含量差异明显,由此奠定了岩溶地貌发育的基础,同时也造成了二者的差异。研究区碳酸盐岩地层面积统计表见表1。

研究区北部的沿河城大断裂从门头沟、昌平的碳酸盐岩地区穿过,受断裂构造影响,大型岩石节理等线性构造十分发育(见图1),其累计长度达1400km,这一地区板状山、墙状山等地表岩溶地貌较发育。房山十渡与霞云岭一带有霞云岭断裂穿过,它对这一地区的构造节理发育和可溶岩的岩石破碎程度产生重要影响。

线性构造的发育方向与整个研究区大的构造格局

表1 研究区碳酸盐岩地层面积统计表

Table1 The statistics of the carbonate rock area

地层	面积 / km ²	百分比/%	
中 新 元 古 代	长城系高于庄组	113.39	7.26
	杨庄组	13.14	0.84
	雾迷山组	679.39	43.50
	铁岭组	149.56	9.58
早古生代	青白口系景儿峪组	57.27	3.67
	寒武系	273.56	17.52
	奥陶系	275.50	17.64
合计	1561.81	100.00	

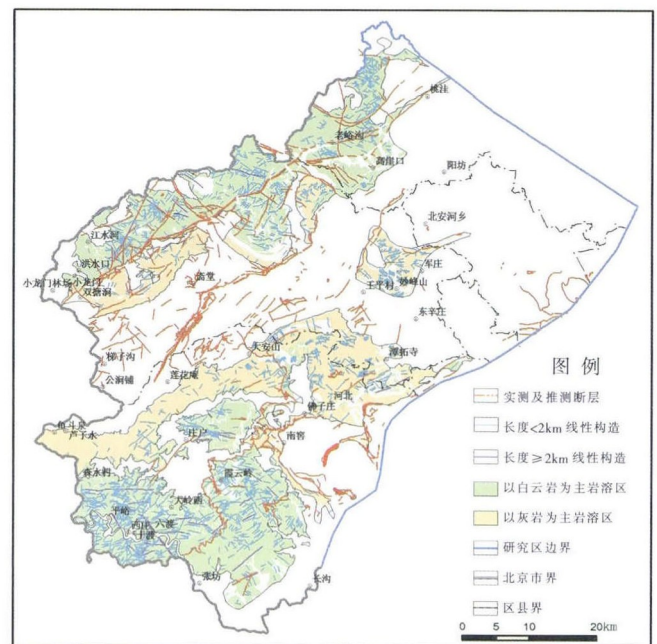


图1 岩溶区地质构造分布图

Fig.1 The areas distribution of geological formations in Karst

相同。通过野外调查发现,节理裂隙的宽度一般在20mm以内,最宽不超过50m。1km以内线性构造解译6144条,1~2km的线性构造757条,从线性构造长度统计频率上来看,97%的节理裂隙长度在2km以内。节理裂隙的方位频率分布主要为北东向和北西向,这与燕山期构造形成的断裂方向是一致的。在方位—长度统计上,出现了北东向、北西向、近东西向三个峰值区,说明近东西向的线性构造有一定的重要性。构造断裂、节理裂隙互相切割、限制,形成了网脉状的岩溶地下水系统,对岩溶地下水的交替、运移和富集有很大的控制作用。

3.2 地表沟系特征

地表沟系的形状与密度不仅反映岩性特点,更能

显示岩石的破碎程度。研究区属于海河流域,二级流域自南向北依次为大清河流域、永定河流域和北运河流域,三个流域内累计长度分别为2 806km、3 074.49km和1 079.56km,各流域四级以上沟系密度属永定河流域较大,其次是大清河流域和北运河流域(见表2)。

表2 研究区各二级流域沟系统计表

Table 2 The statistics of the ditch system in the second stage basin

流域	面积 / km ²	累计长度 / km	沟系密度 / km·km ⁻²	沟系平均长度 / m
大清河	1 601.09	2 806.31	1.75	982.94
永定河	1 531.88	3 074.49	2.01	1 178.42
北运河	996.77	1 079.56	1.08	745.56

从研究区的沟系发育的整体来看,岩溶区沟系密度较非岩溶区的要大,表现比较明显的地区是房山十渡拒马河沿岸和门头沟的非岩溶区。同为碳酸盐岩地区,沟系密度大的地区,地表岩溶也相对发育。例如,房山十渡地区较其东侧的长沟、张坊地区沟系密度高很多,前者峰林、峰丛等地表岩溶地貌十分发育,后者则较为少见。究其原因,沟系与岩性、构造节理等有着密切关系,沟系密度大的地区恰为断裂与节理发育,岩石又较为破碎的地区。沟系发育特性与断裂构造特征有某种联系。以大清河流域的沟系分布为例,沟系的延伸方向多为北东和北西向,与区内线性构造发育方向相同,与燕山期构造形成的断裂方向是一致的。

3.3 地形地貌特征分析

坡度对水流汇集速度影响较大,坡度越缓越有利于水流入渗,进而有利于补给地下水。拒马河沿岸及龙门涧沿河城一带受地质构造作用,岩溶发育且溶蚀显著,坡度较大,坡度集中在15°以上。据统计,岩溶区坡度在35°以上的面积为199.95km²,其地表径流十分强烈,不利于地表水入渗;坡度在15°~35°区域为992.58km²,地表径流强烈,地表水入渗较差;坡度5°~15°区域为383.51km²,地表径流减弱,地表水入渗加大;小于5°区域仅为105.32km²,主要为地表水入渗区域。

研究区低山和平原地貌分布较广,其中流水地貌占研究区总面积的30%,低山地貌面积为1 582.95km²,占总面积的38.35%。根据可溶岩与非可溶岩的性质,将中山、低山、丘陵以及台地细致划分为非岩溶地貌和岩溶地貌两大类,按照面积统计发现岩溶地貌的面积大于非可溶岩面积,岩溶地貌占37%,非岩溶地貌占33%。

4 岩溶水系统划分

4.1 以往系统划分

2001年,由北京市地质矿产勘查开发局和中科院地球物理研究所共同完成的《北京地区岩溶地下水资源研究与开发利用工程项目可行性研究》^[6],将北京地区岩溶水系统按照含水岩组分布、水动力条件、相对隔水层、地下水分岭等,将其分为相对独立的七个系统,其中房山长沟——周口店、西山鲁家滩——玉泉山、昌平高崖口——南口三个岩溶区在本研究区。该岩溶区划分为启动北京市岩溶水勘查提供了重要依据。但以往系统的划分对影响岩溶含水系统的因子考虑不充分,尤其是下垫面的影响因素,而且划分界线仍存在一定争议。

4.2 基于遥感解译成果的岩溶水系统划分

岩溶水的赋存条件、空间分布、运动及其演化规律受到地层岩性、区域构造、地表水、地形地貌及人类活动等多因素的控制和影响。基于遥感解译结果,根据多因素对岩溶水的作用结果,以及岩溶水系统的边界条件、水力特征及联系,尽量保持系统相对完整性,并兼顾系统间的差异性,通过综合分析验证,将研究区岩溶水划分为2个级别。

全区河流分属3大流域:大清河流域、永定河流域和北运河流域。各流域间存在明确的地表分水岭界线,而且山区地下水分界线与地表水分水岭基本一致。因此,根据一级岩溶水系统划分方法,将工作区的岩溶水系统分为拒马河岩溶系统(I)、大石河岩溶系统(II)、永定河岩溶系统(III)和北运河岩溶系统(IV),见图2。

在一级岩溶水系统的基础上,以寒武系与奥陶系的灰岩和中新元古界的白云岩为单元进行二级系统划分,共划分出5个二级岩溶水系统单元,见表3。

4.3 与以往划分比较

从划分标准上,与原有划分结果相比,本次划分从影响岩溶含水层的约束条件出发,以遥感解译成果为依据,尤其是考虑到地表下垫面各约束条件的影响进行的划分。

从划分结果上,本次划分综合考虑地表流域单元、碳酸盐岩分布范围、可溶岩类型及特点,较原有划分更为细致,对以往划分的部分地区进行了修订。

原有的房山长沟——周口店岩溶区包含了拒马河流域(I)以及大石河流域的霞云岭岩溶区(II₂),西

表3 研究区岩溶水系统划分统计表
Table3 The statistics of the karst water system divisions

地表流域	岩溶水系统划分		面积 / km ²	岩溶面积 / km ²
	一级系统	二级系统		
大清河流域	拒马河岩溶水系统(I)		787.77	484.23
	大石河岩溶水系统(II)	大安山(II ₁)	287.78	310.03
		霞云岭(II ₂)	474.35	145.76
		沿河城(II ₃)	464.41	494.41
永定河流域	永定河岩溶水系统(III)	岩溶边界(III ₂)	386.98	2.93
		军庄(III ₃)	635.75	97.35
		北运河岩溶水系统(IV)	1090.61	155.00

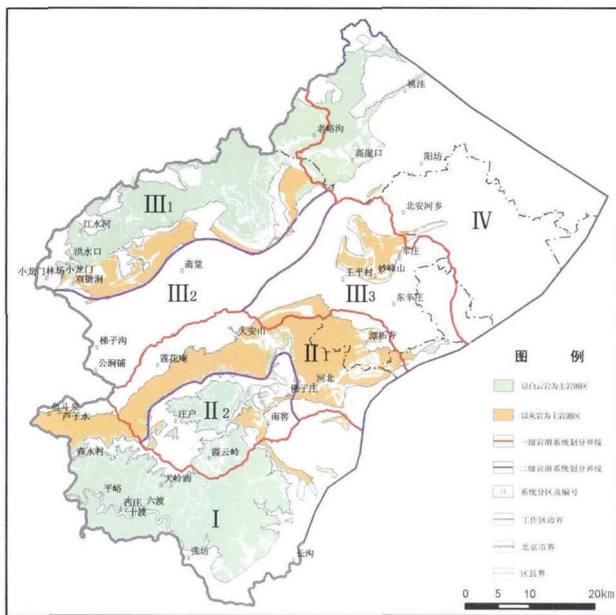


图2 基于遥感解译成果的岩溶水系统划分图

Fig.2 Division of the karst water systems based on remote sensing interpretation

山鲁家滩——玉泉山岩溶区包含了大石河流域的大安山岩溶区(II₁)、永定河流域的军庄岩溶区(III₃)以及北运河流域的部分平原区,其余为昌平高崖口——南口岩溶区。

5 结论

依据遥感图像,对研究区内地质构造、地形地貌以及地表沟系信息的提取,结合野外调查与解译修正,以及已有地质调查资料,得到了研究区岩溶区的分布特征,通过对各影响因子与岩溶区发育特征的影响关系研究,得到了如下结论:

(1)研究区碳酸盐岩碳酸盐岩总面积约 1561.81km²,其中长城系可溶岩出露面积 113.39km²,蓟县系可溶岩

842.09km²,青白口系可溶岩 57.27 km²,寒武系可溶岩 273.56 km²,奥陶系可溶岩 275.50 km²,各地层分别占总碳酸盐岩地层的 7.26%、54%、3.67%、17.52%、17.64%。蓟县系可溶岩中以雾迷山组地层出露面积最广。

(2)基于遥感解译成果,对研究区的岩溶水系统进行了二级划分,其中一级系统 4 个,二级系统 5 个。岩溶水系统的划分有利于针对各岩溶水系统的特征,采用相应的评价方法、开发方式和保护措施。

参考文献:

- [1] 北京市地质矿产勘查开发局,北京市水文地质工程地质大队.北京地下水[M].北京:中国大地出版社,2008.(Geology and Mineral Resources Exploration Bureau of Beijing, Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology. Beijing Groundwater [M]. Beijing:China Geological Press,2008. (in Chinese))
- [2] 北京市地质调查研究院,河北省地质调查研究院,中国地质大学(北京).首都地区地下水水资源和环境调查评价报告[R].2005.(Beijing Institute of Geological Survey, Hebei Institute of Geological Survey, China University of Geosciences (Beijing). Report of groundwater resources and environmental investigation in capital region [R]. 2005. (in Chinese))
- [3] 李宇,郭萌,周嵘.北京地区岩溶地下水资源勘察工作探讨[J].城市地质,2009,4(4):5-9. (LI Yu, GUO Meng, ZHOU Rong. Discussion on exploration of the karst groundwater resources in Beijing area[J]. Urban Geology, 2009,4(4):5-9. (in Chinese))
- [4] 辛宝东.北京市房山区岩溶地下水水文地球化学特征[J].水文地质工程地质,2005,(3):74-75.(XIN Baodong. Hydrogeochemical characteristics of karst groundwater in Beijing Fangshan [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2005,(3):74-75.(in Chinese))
- [5] 郭高轩,刘文臣,辛宝东,等.北京岩溶水勘查开发的现状与思考[J].南水北调与水利科技,2011,9(2):33-36,45. (GUO Gaoxuan, LIU Wenchen, XIN Baodong, et al. Current situations and discussions on karst groundwater resources exploration in Beijing [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science and Technology, 2011,9(2):33-36,45.(in Chinese))

(下转第 86 页)

- [9] 宁夏回族自治区水利厅. 宁夏回族自治区县/区水资源详查报告[R]. 2010. (Water Conservancy Bureau Ningxia Hui Autonomous Region. Survey Report on the Water Resource in the Ningxia Hui Autonomous Region[R]. 2010. (in Chinese))
- [10] 宁夏水文水资源勘测局. 宁夏水资源公报[R]. 2011. (Ningxia Hydrology and Water Resources Survey Bureau. Ningxia water resources bulletin[R]. 2011. (in Chinese))

Analysis of Water Consumption in Ningxia Reach of Yellow River Since Integrated Regulation

JIN Shuangyan, ZHANG Ping, ZHANG Chunlan, MA Zhijin

(Yellow River Institute of Hydrology and Water Resources, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: The annual allocation, inter-annual variation and relation of water diversion and water recession were analyzed for the period during 1999–2012 of the Yellow River integrated water regulation in the Ningxia reach. Water consumption in the Ningxia reach was calculated with the methods of water diversion–recession and water balance. The mean water consumption from water diversion–recession method is 3.264 billion m³ and annual variability of which is relatively flat. The result of water balance method is 3.937 billion m³ and annual variation is obvious.

Key words: water consumption; water diversion–recession method; water balance method; quantity of water diversion; quantity of water recession; Ningxia Reach; integrated water regulation

(上接第 60 页)

- [6] 北京市地质矿产勘查开发局,中科院地质与地球物理研究所.北京地区岩溶地下水资源研究与开发利用工程可行性研究报告 [R]. 2001. (Geology and Mineral Resources Exploration of Beijing, Institute of Geography and Geophysics, Chinese Academy of Sciences. Feasibility study report of research and exploration of karst groundwater resources in Beijing [R]. 2001. (in Chinese))
- [7] 北京市地质矿产局. 北京市区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991:51–90.(Geology and Mineral Resources Bureau of Beijing. Regional Geology of Beijing Municipality [M]. Beijing: Geology Press, 1991:51–90. (in Chinese))
- [8] 鲍亦冈,刘振锋,王世发,等. 北京市岩石地层[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1996:37–97.(BAO Yigang, LIU Zhenfeng, WANG Shifa, et al. Beijing Lithostratigraphy [M]. Beijing: China Geological Press, 1996:37–97.(in Chinese))
- [9] 张吉顺,善文琅. 北京西山地质研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990:78–125.(ZHANG Jishun, SHAN Wenlang. Research on Geology in Xishan Area of Beijing [M]. Wuhan: China Geological Press,1990:78–125.(in Chinese))

Application of Remote Sensing Technology in Division of Karst Water Systems in west Beijing

CAO Ying¹, WANG Hongbin¹,WANG Qiangqiang¹, LI Liangjing¹, JI Yiqun²

(1. Beijing Institute of Geology, Beijing 100120, China; 2. Hydrogeology and Engineering Geology Team of Beijing, Beijing 100195, China)

Abstract: Karst water is an important part of the Beijing groundwater. The division of karst water is helpful for choosing evaluation methods, exploitation ways and protection measures of different karst water systems. The survey was based on the remote sensing images of SPOT5 in 2011. On the basis of image pre-processing and the existing working foundation, and in combination with the field examination and artificial interpretation, this research obtained the spatial distribution characteristics of geological formations, topography and geomorphology, drainage system. By analyzing the relation between each factor and the development of karst, we divided into two level of karst water system in west Beijing, including four level I and five level II. Compared with the previous classification results, we hope to provide technical support for karst water development and utilization in west Beijing.

Key words: karst water system; remote sensing; system division; west Beijing