

北京西山岩溶水应急水源地水文地质特征及开采潜力分析

王晓红, 刘文臣, 沈媛媛, 刘士成

(北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195)

摘要: 应急水源地位于北京西山四季青地区, 取水层位为奥陶系含水层, 属覆盖型水源地。奥陶系岩溶地下水水量大、水质优良, 是保障北京供水安全的后备水源。本文在综合分析奥陶系岩溶地下水水文地质特征基础上, 以群孔抽水试验为基础, 采用相关分析法预测水位, 从岩溶地下水的富水性、地下水流场、地下水资源方面分析岩溶水的开采潜力, 确保在出现水源危机时, 岩溶地下水能够作为后备水源地为城市供水。结果表明, 岩溶地下水应急水源地岩溶裂隙发育, 补给条件好, 地下水径流强度大, 水质优良, 具有6万 m³/d 的开采潜力, 即当水源地增加每日6万 m³ 应急开采时, 水位埋深预测值为52.94 m, 能够满足现有取水设备条件, 且不会影响其它水源井的运行。

关键词: 岩溶水; 应急水源; 相关分析; 抽水试验; 开采潜力; 北京西山

中图分类号: P641 **文献标识码:** A

0 引言

北京是水资源严重紧缺的城市, 水资源已成为社会经济可持续发展的主要制约因素。自1999年以来北京地区出现了多年连续干旱, 地表水源来水量骤减, 地下水位连年下降, 水质逐年恶化, 自来水厂的现状供水能力难以达到供水管网的供水能力, 供需矛盾日益突出, 迫切需要开发新的城市后备水源^[1-2]。

西山岩溶地下水是北京后备水源地之一。为合理开发利用该后备水源, 本文在综合分析其奥陶系岩溶地下水水文地质特征基础上, 以群孔抽水试验为基础, 采用相关分析法预测水位, 从岩溶地下水的富水性、地下水流场、地下水资源方面分析该应急水源地的岩溶水开采潜力, 以确保其在出现水源危机时能够作为后备水源地为城市供水。

1 区域水文地质概况

据地质构造、埋藏、分布、赋存规律, 北京西山地

区基岩地下水分为碳酸盐岩类岩溶水、碳酸盐岩-碎屑岩类裂隙水、碎屑岩类裂隙水和火成岩类裂隙水。碳酸盐岩类岩溶水根据岩性划分为奥陶系、寒武系、蓟县系含水岩组^[3-4]。

西山岩溶地下水主要取水层位为奥陶系含水岩组, 奥陶系地层主要出露在本区西北、西南一带, 在东部地区奥陶系地层隐伏于第四系地层之下。在构造上, 西南部鲁家滩、北车营地区的奥陶系灰岩位于谷积山背斜的两翼, 西北部妙峰山、军庄地区的奥陶系灰岩分布在九龙山-香峪大梁向斜的北翼, 东部四季青、北坞一带奥陶系灰岩位于八宝山断裂的西北侧。奥陶系岩溶地下水的补给、径流、排泄条件主要受九龙山-香峪向斜、谷积山背斜、马鞍山-廊坡顶背斜和八宝山断裂等地质构造控制^[5-6]。

北京西山奥陶系岩溶地下水系统是由九龙山复式向斜形成的岩溶裂隙储水构造, 系统西部边界在鲁家滩、军庄一带, 以地表分水岭为界, 东南部以八宝山阻水断裂为相对隔水边界, 北部以花岗岩体为界, 向东延伸至东北旺地区。该含水岩层主要接受大气降

基金项目: 北京市优秀人才培养资助基金项目(20042D1100205)

第一作者简介: 王晓红(1965-), 女, 高工, 主要从事地下水资源、供水水文地质勘察工作。E-mail: wxh@bjwsd.com, wangxiaoh640@yahoo.cn.

收稿日期: 2010-11-22

水、地表水入渗补给,军庄地区岩溶地下水向东、东南方向径流,鲁家滩地区岩溶地下水沿八宝山断裂向梨

园地区径流。排泄途径主要有人工开采、侧向径流(图 1、图 2)。

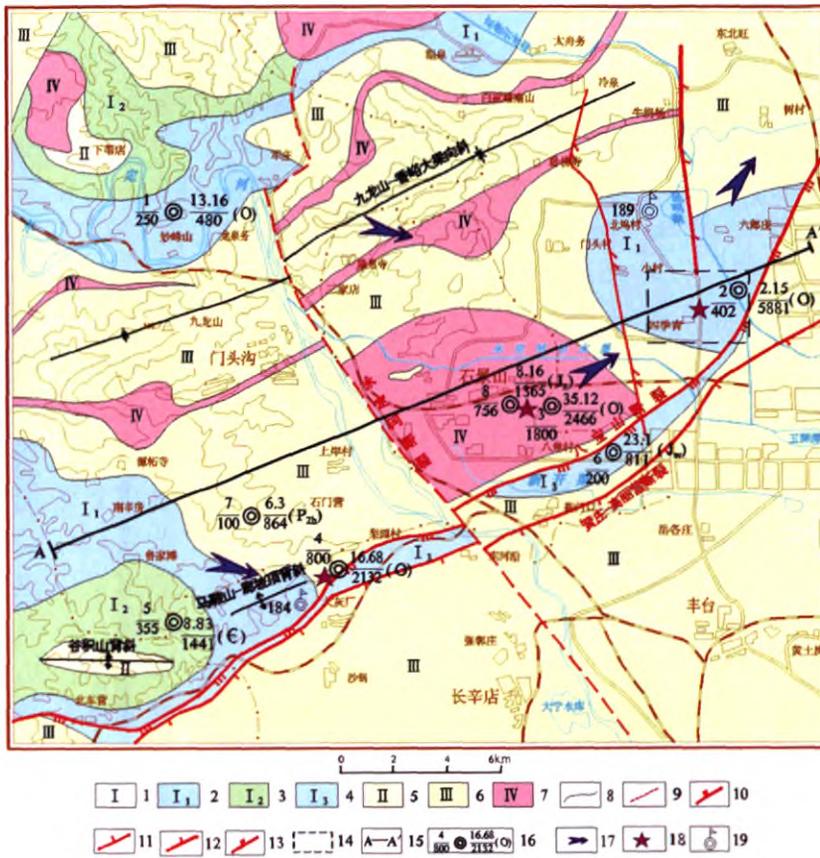


图 1 北京西山基岩水文地质图

Fig. 1 Hydrogeologic map of the bedrock in Xishan

- 1. 碳酸盐岩类岩溶水; 2. 奥陶系含水岩组; 单井出水量 500~5 000 m³/d; 3. 寒武系含水岩组; 单井出水量 100~1 600 m³/d;
- 4. 蓟县系含水岩组; 单井出水量 100~2 000 m³/d; 5. 碳酸盐岩-碎屑岩类裂隙水; 单井出水量 100~1 000 m³/d; 6. 碎屑岩类裂隙水; 单井出水量 10~1 000 m³/d; 7. 火成岩类裂隙水; 单井出水量 50~1 400 m³/d; 8. 含水岩组界线; 9. 推测断层; 10. 压性断层; 11. 张性断层; 12. 张扭性断层; 13. 压扭性断层; 14. 应急水源地范围; 15. 剖面线; 16. 左: 井号/井深(m), 右: 降深(m)/出水量(m³/d) (取水层位); 17. 地下水流向; 18. 已建水源地; 19. 长观孔

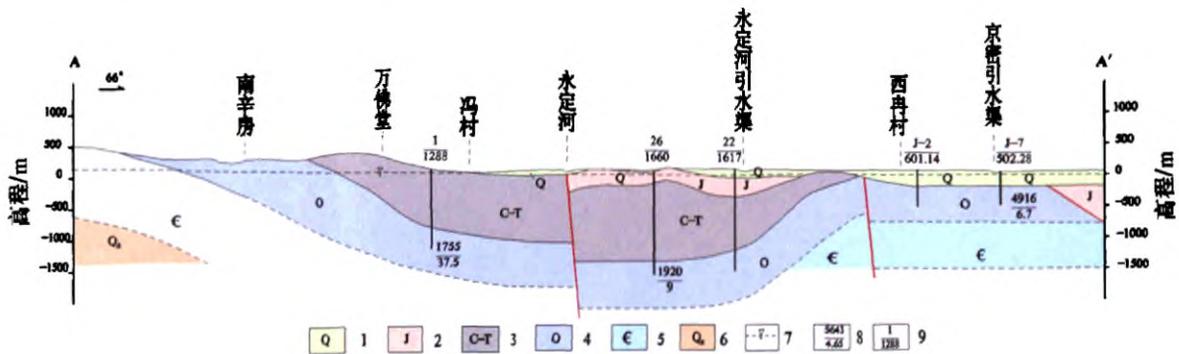


图 2 A—A'水文地质剖面图

Fig. 2 Hydrogeologic section of A—A'

- 1. 第四系; 2. 侏罗系; 3. 石炭—三叠系; 4. 奥陶系; 5. 寒武系; 6. 青白口系; 7. 地下水位; 8. 涌水量(m³/d)/降深(m); 9. 孔号/孔深(m)

应急水源地位于北京西山四季青地区,是北京西山地层和构造的延伸部分。岩性由灰岩、白云质灰岩、角砾状灰岩组成,在西山岩溶地下水系统中,处于地下

水的排泄区。水源地奥陶系灰岩直接埋藏于第四系地层之下,第四系厚度约 200~300 m。灰岩岩溶裂隙发育,富水性好,单井出水量为 2 500~3 000 m³/d。

2 地下水动态特征

年内动态特征:奥陶系岩溶地下水位的变化主要受大气降水补给、人工开采的控制和影响,3—5月份降水量较少,农业开采量增加,水位持续下降,一般5月底或6月初水位最低,到雨季7—9月份水位回升并出现峰值,10月至翌年2月,降水量少,但农业灌溉用水也少,因此水位变化缓慢。年内水位的变化幅度与降水量密切相关,降水量大的年份,地下水水位变化幅度大于降水量小的年份。1993年和1994年的降水量分别为506.7 mm和811.2 mm,184号孔地下水位年内变化幅度分别为4.2 m和40 m,189号孔水位年内变化幅度分别为1.6 m和6 m。

多年动态变化特征:西山岩溶地下水是在1982年后逐渐开采使用的,1982—1988年地下水位下降较快(图3),184号孔和189号孔平均水位下降速率为2.16 m/a和0.78 m/a,1989—1997年9年平均降水量为582 mm,相当于平水年份,但由于得到地表水的补给,如水定河三家店水库放水补给等,184号孔1989年和1997年12月份同期水位分别为52.99 m和52.8 m,地下水位基本保持自然平衡状态;189号孔1997年12月份水位为40.97 m,与1989年相比(水位39.16 m),地下水位略有上升。

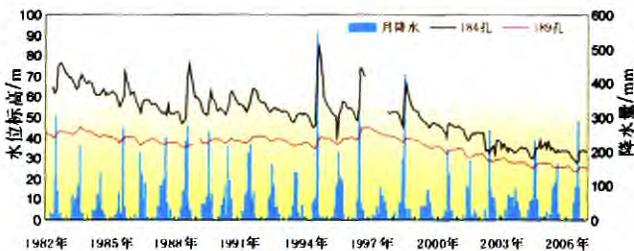


图3 184、189孔1982—2006年地下水位动态曲线图

Fig. 3 The groundwater table perennial regime curve of hole 184 and 189 during 1982—2006

1997年后,由于基岩自备井的大量增加,开采量逐渐加大,在梨园村一带已形成地下水位降落漏斗,1998年为丰水年,地下水位稍有回升。1999—2006年为连续枯水年份,由于降水量减少,开采量增大,184号孔由45 m(1999年最低水位)下降到28 m(2006年),189号孔由35 m(1999年)下降到23.7 m(2006年),地下水水位呈持续下降趋势。在八宝山断裂带地区地下水位下降较快,下降速率为2.51 m/a,降落漏斗范围不断扩大。

万方数据

3 岩溶地下水潜力分析

西山岩溶水应急水源地属覆盖型水源地,处于山前基岩浅埋区,富水性好、水质优良,是保障北京供水安全的后备水源。本次研究是以群孔抽水试验为基础,采用相关分析法预测水位,从岩溶地下水的富水性、水位、水量方面分析奥陶系岩溶水的开采潜力。

3.1 群孔抽水试验

应急水源地基岩地下水的勘察工作在三厂水源地的原有井院内施工15眼基岩水源井,总进尺10 000 m。基岩水源井成井后,于2005年7月1日陆续投入使用,7月10日全部运行。群孔抽水试验(孔位参见后文图5)与水源井管线供水同步进行,各水源井成井后接入主管线,直接参与市政供水。在群孔抽水试验期间,水源三厂原有水源井不停采。

3.1.1 群孔抽水试验的目的和任务

群孔抽水试验评价的目的是按照国家供水规范要求,通过群孔抽水试验进一步揭露水源地地区的水文地质条件,判断基岩地下水的补给来源、径流途径,评价应急水源地投入使用后对当地工农业生活用水的影响。主要任务是在群孔抽水试验期间,观测抽水试验前、抽水试验过程中和抽水后基岩地下水位的变化趋势,重点监测水源地中心区基岩地下水位、水质变化情况,通过抽水前自然水位的变化规律圈定抽水影响范围,分析水源井间的水位干扰、水量削减情况,评价干扰影响程度,提出基岩地下水水源地最佳开采方案^[7-8]。

3.1.2 开采量

群孔抽水单井出水量2 400 m³/d,15眼水源井日开采量共为3.6万 m³/d,从2005年7月1日至12月31日,累计增加开采量648万 m³。

3.1.3 群孔抽水试验期间水位、水质变化趋势

各观测孔与抽水主孔均在7月20日出现最低水位,5号观测孔水位为25.5 m,2号抽水主孔水位为21.5 m,后由于降水,地下水位回升,在8月20日出现最高水位,5号观测孔和2号抽水主孔水位分别为26.9 m和22.68 m,随后水位略有下降,之后变化很小,说明抽水井水位已达到稳定,水源地具有稳定的补给源,补给途径快,补给量充足(图4)。

根据群孔抽水试验期间取样分析结果,抽水前后地下水硬度275 mg/L,没有发生变化,其它各项指标也未改变,基岩地下水的水质在群孔抽水期是稳定。

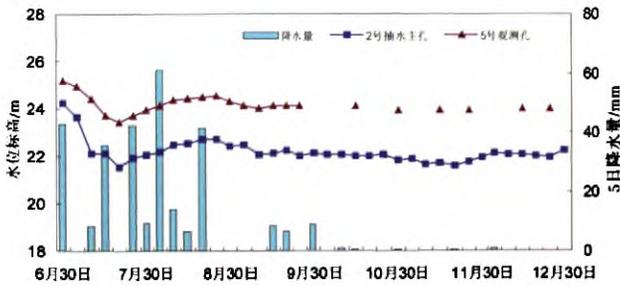


图 4 抽水主孔、观测孔水位动态曲线图

Fig. 4 Curve of water table regime in the main pumping hole and the observation hole

3.1.4 影响范围

抽水试验期间观测孔水位同抽水井水位变化同步,同时出现最低水位和最高水位,与抽水前期相比,

抽水主孔和观测孔水位最大下降值分别为 1.91 m 和 1.6 m,8 月 30 日至 9 月 25 日水位波动不大,基本达到稳定。水源地中心 2 号抽水主孔与 5 号观测孔的距离为 4 000 m,由于基岩观测孔较少,根据现有观测资料分析,可以确定在 4 000 m 范围内的基岩井并受到群孔抽水试验影响(图 5)。

综上所述,群孔抽水试验证实应急水源地岩溶地下水具有稳定的补给源,补给途径快,补给量充足。试验期间,距水源地中心 4 000 m 范围内的基岩井受到抽水试验影响,但对水井的运行没有产生影响。应急水源地运行后,在水源地中心区形成了降落漏斗,应继续监测基岩井的水位、水质,分析地下水流场的变化趋势。

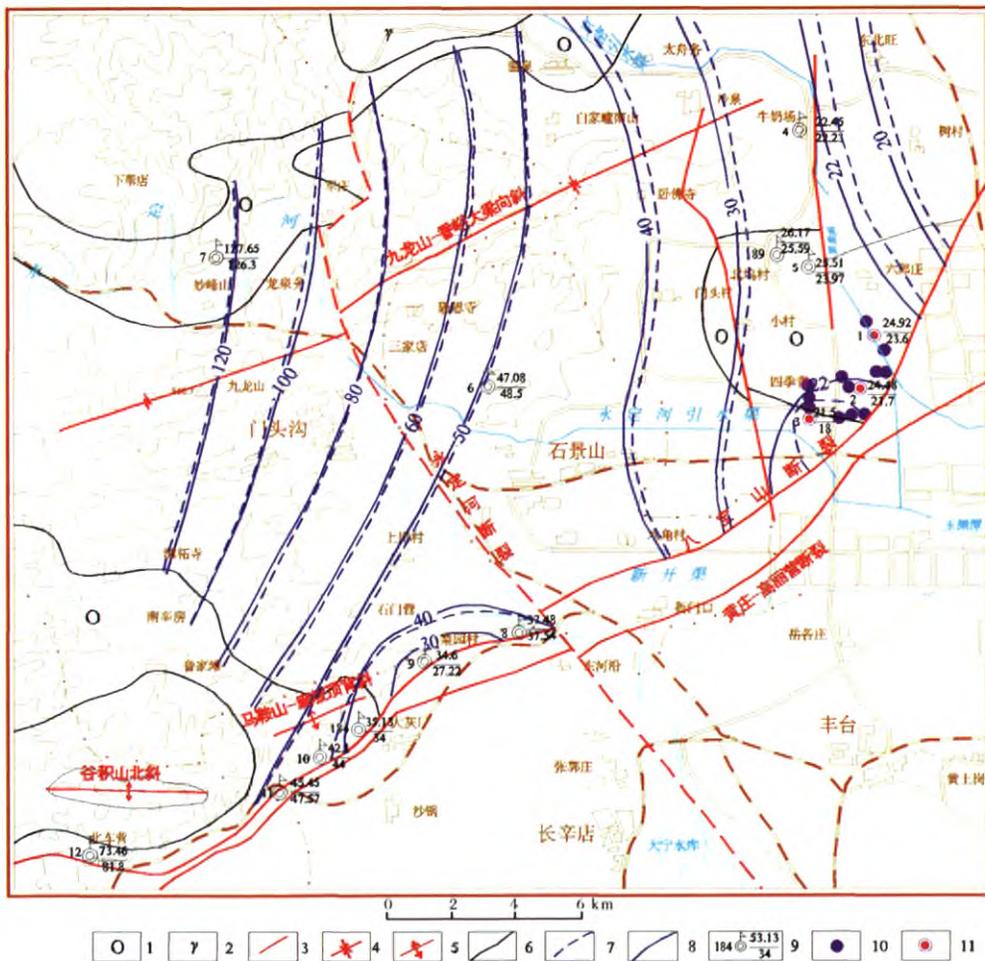


图 5 西山地区岩溶地下水等水位线图

Fig. 5 Water table contour map of the karst groundwater in Xishan area

1. 奥陶系;2. 岩体;3. 断层;4. 向斜;5. 背斜;6. 层界线;7. 2005 年 6 月等水位线(m);8. 2005 年 11 月等水位线(m);9. 左为孔号,右为 2005 年 6 月水位(m)/2005 年 11 月水位(m);10. 抽水主孔;11. 监测水位的抽水主孔

3.2 相关分析法

应急水源地群孔抽水试验是采用并网供水方式进行的,由于场地、时间限制,只有一个抽水落程,不

能满足开采试验法的要求。该水源地已连续开采 13 年,相当于长期的开采性抽水试验,可充分利用多年来的实际开采资料,采用相关分析法,根据历年水位

埋深与实际开采量的相关关系,预测地下水位埋深值^[9-10]。

本区岩溶地下水的开采主要经历了三个阶段:1998 年水源三厂开始大量开采岩溶地下水,1999 年石景山水厂正式运行,2005 年自来水应急水源地运行。根据水源井的实测水位,1996—2006 年地下水位埋深(S)与年开采量(Q)关系密切(图 6),相关方程(图 7)为:

$$S=5.866e^{0.000224Q} \quad R^2=0.97$$

经显著性检验(F 检验值 289.69,尾概率为 0.000),该相关方程可用于预测水位埋深。

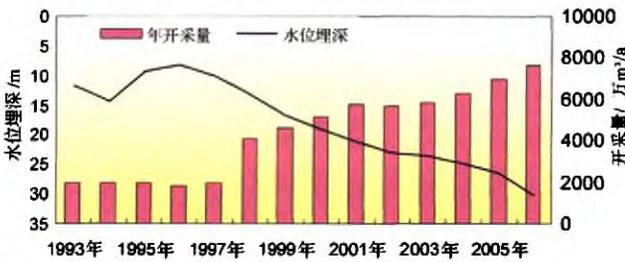


图 6 地下水位埋深与开采量关系图

Fig. 6 Relationship between the depth of groundwater table and water yield

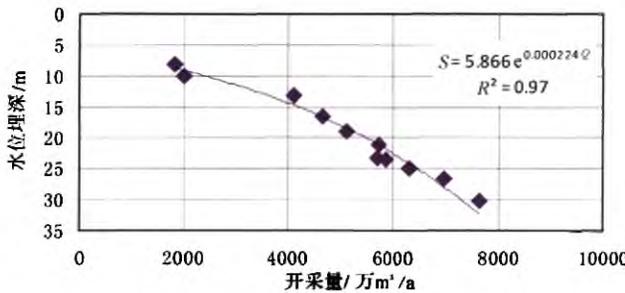


图 7 水位埋深与年开采量相关曲线图

Fig. 7 Related curve between the depth of groundwater table and water yield

为了分析奥陶系岩溶地下水的开采潜力,根据相关分析法的外推范围(降深不超过 1.5 倍)^[11],给出奥陶系岩溶地下水不同的开采量,预测水源地中心区地下水位埋深共采用 3 种增采方案,即在 2006 年的开采量(7 631 万 m³)的基础上,分别增加开采量 1 万 m³/d、3 万 m³/d 和 6 万 m³/d,其水位值分别为 35.17 m、41.42 m 和 52.94 m(表 1)。

3.3 水资源开采潜力分析

为论证上述增采方案的可行性,下面拟从奥陶系岩溶地下水的富水性特征、地下水流场演化以及水资源现状,并结合群孔抽水试验、相关分析预测结果,对西山地区岩溶地下水的开采潜力进行综合研究。

表 1 水位埋深预测表(单位:m)

Tab. 1 Prediction of the depth of groundwater table (Units: m)

增采方案	方案 1	方案 2	方案 3
	(增加 1 万 m ³ /d)	(增加 3 万 m ³ /d)	(增加 6 万 m ³ /d)
水位埋深	35.17	41.42	52.94

3.3.1 从富水性分析

应急水源地奥陶系岩溶地下水埋藏于第四系地层之下,岩溶裂隙发育,且与裂隙相互连通,利于大气降水及地表水入渗补给,具有较强的透水性及导水性能。群孔抽水试验证实了应急水源地岩溶地下水具有稳定的补给源,补给途径快,补给量充足,同时水质符合国家饮用水卫生标准,开采条件好,具有较强的开采潜力。

3.3.2 从地下水流场分析

北京西山奥陶系岩溶地下水流动的总趋势是从西部军庄地区、西南鲁家滩地区向东北方向流动,梨园、四季青地区由于地下水的集中开采形成局部降落漏斗。

1987 年以前岩溶地下水流场基本呈天然状态,1988 年梨园水源地运行,八宝山断裂带附近西部山前地区增加了许多基岩自备井,岩溶地下水开始大量开采,打破了自然状态,在八宝山断裂带地下水位下降较快,形成小型降落漏斗。1997 年后,水源三厂大量开采岩溶地下水,四季青地区增加了许多基岩井,岩溶地下水开采量猛增,最大达到了 6 万 m³/d,地下水位下降并到达新的动态平衡,但未形成降落漏斗。1999 年石景山水源地运行,增加开采量 1 万 m³/d,对地下水流场未产生影响,2005 年应急水源地运行,增加了开采量 3.6 万 m³/d,地下水位降深增加了 1.6 m,局部地区形成漏斗,形成新的动态平衡。岩溶地下水流场的变化趋势表明,地下水水位多年来呈区域性下降的趋势。岩溶地下水开采量的增加,打破了原有的动态平衡,地下水位每次都能很快形成一个新的动态平衡,说明岩溶水具有较强的补给能力,有一定开采潜力。

3.3.3 从地下水资源方面分析

西山地区奥陶系岩溶地下水多年平均总补给量为 12 651 万 m³/a,2006 年总开采量为 7 631 万 m³,岩溶裂隙水对第四系地下水的顶托补给为 2 000 万 m³/a,尚余水量 3 020 万 m³/a(8.3 万 m³/d)。据相关分析法预测知,应急水源地增加应急开采 6 万 m³/d 的供水量,水位埋深预测值为 52.94 m,能够满足

现有取水设备条件,不会影响其它水源井的运行,因此,西山地区岩溶地下水具有 $6 \text{万 m}^3/\text{d}$ 的开采潜力,在遇枯水年或连枯水年时,可动用部分贮存量作为应急开采。

4 结 语

(1)北京西山奥陶系岩溶地下水岩溶裂隙发育,补给条件好,地下水径流强度大,水质优良,岩溶地下水多年平均总补给量为 $12\ 651 \text{万 m}^3/\text{a}$,2006年岩溶地下水还具有 $6 \text{万 m}^3/\text{d}$ 的开采潜力。

(2)建议在现有工作的基础上,开展水文地质详查工作,通过钻探、大型群孔抽水试验,进一步揭露岩溶地下水的水文地质条件,论证岩溶地下水开采技术条件及长期开采的保证程度,预测开采期间岩溶地下水的变化趋势,分析开采后对已建水源地的影响以及可能产生的环境地质问题。

(3)为保证岩溶地下水可持续开发利用,应建立基岩地下水动态监测网,对水位、水质、水量进行动态研究,做好水源保护工作。

参考文献

- [1] 中国科学院地质研究所岩溶研究组. 中国岩溶研究[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-3.
- [2] 刘启仁, 张凤岐, 秦毅苏, 等. 中国北方岩溶水资源的形成、分布与合理开发利用[J]. 水文地质工程地质, 1992, (4): 41-44.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 张大纯, 张人权, 史毅虹, 等. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 70-88.
- [7] 杨成田. 专门水文地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1981: 195-241.
- [8] 钱家忠, 吴建中, 朱学愚, 等. 徐州市张集水源地裂隙岩溶水群孔抽水试验研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(05): 598-601.
- [9] 殷昌平, 孙庭芳, 金良玉, 等. 地下水水源地勘查与评价[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 202-234.
- [10] 赵广利, 赵正明. 渭北中部岩溶水赋存规律及开发潜力研究[C]. 煤田地质与可持续发展研究论文集, 2003: 78-82.
- [11] 第一机械工业部勘测公司, 第二机械工业部第四设计研究院勘察大队, 第二机械工业部地质四队, 等. 供水水文地质手册(第三册)[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 37-145.

Analysis on the hydrogeology characteristics and exploitation potential of the emergency karst water source field in Xishan region, Beijing

WANG Xiao-hong, LIU Wen-cheng, SHEN Yuan-yuan, LIU Shi-cheng

(Hydrogeology and Engineering Geology Team of Beijing, Beijing, 100195, China)

Abstract: Emergency groundwater source field locates in Sijiqing region, which is a covered karst water source field; the water intaking horizon is the Ordovician aquifer. Ordovician karst water is back-up water resource of Beijing city for safe water supply with good water yield property and excellent water quality. Based on comprehensive analysis on the Ordovician karst groundwater hydrogeologic characteristics and pumping test data, groundwater table is predicted with correlation analysis method in this paper. Exploitation potential of karst groundwater is analyzed in view of water-bearing capacity and groundwater flow field as well as groundwater resources to ensure the groundwater can be used as back-up water source for city water supply in the event of water crisis. The results indicate that, karst groundwater system is characterized by developed karst fissure, good recharge condition and good water quality, great groundwater flow intensity. The emergency karst groundwater source field has a $60\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$ of the exploitation potentiality. When water source field increase emergency extraction of $60\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$, the predicted groundwater depth is 52.94 m , which can met the demand of existing water facilities and does not affect the other wells' normal running.

Key words: karst water; emergency water source; correlation analysis; pumping test; exploitation potential; Xishan in Beijing