

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.02.012

补给带法在基岩裂隙水可开采量计算中的应用

洪昌红,邱 静,黄本胜,吉红香,黄薇颖,刘 达,黄锋华

(1. 广东省水利水电科学研究院,2. 广东省水动力学应用研究重点实验室,
3. 河口水利技术国家地方联合工程实验室,广东 广州 510630)

摘要:针对基岩裂隙水赋存介质的不均匀性及其可开采量计算中水文地质参数的不确定性,采用补给带法对某矿泉水厂开采区域的基岩裂隙水可开采量进行计算;在水文地质调查的基础上,采用可开采系数法对该区域基岩裂隙水可开采量进行计算,并与补给带法计算结果进行对比。结果表明:两者计算结果十分接近;补给带法较为简单,避免了基岩水文地质参数的不确定性造成的计算结果的不确定性,可以作为基岩裂隙水可开采量计算的方法之一。

关键词:补给带法;地下水;基岩裂隙水;可开采量
中图分类号:P641 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2013)02-0058-03

Application of recharge zone method to calculation of allowable withdrawal of bedrock fissure water

HONG Changhong, QIU Jing, HUANG Bensheng, JI Hongxiang,
HUANG Weiyong, LIU Da, HUANG Fenghua

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower,
2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Hydrodynamics Research,
3. Estuarine Water Technology National and Regional United Engineering Laboratory, Guangzhou 510630, China)

Abstract: To avoid the influence of the inhomogeneity of the medium containing bedrock fissure water and the uncertainty of hydrogeological parameters, the recharge zone method was used to calculate the allowable withdrawal of the bedrock fissure water in a mineral water factory. Based on hydrogeological investigation, the allowable withdrawal coefficient method was used to calculate the allowable withdrawal of the bedrock fissure water in the study area, and the results of this method were compared with those obtained with the recharge zone method. It was shown that the results from both methods were almost consistent. The recharge zone method is simpler, and it can avoid the uncertainty of calculated results caused by the uncertainty of hydrogeological parameters, which validates its application to the precise calculation of the allowable withdrawal of bedrock fissure water.

Key words: recharge zone method; groundwater; bedrock fissure water; allowable withdrawal

基岩裂隙水是我国分布最为广泛的地下水类型之一,自 20 世纪 60 年代以来,我国对基岩裂隙水进行了大规模的勘探和开发等工作。由于基岩裂隙水埋藏分布情况较为复杂,往往呈带状分布,形成不规则的含水带,并受各种裂隙发育带产状的控制,含水介质不均匀,同一含水带埋深不同,地下水运动状态复杂^[1]。基岩裂隙水的赋存特点导致其有效合

理的开采利用难度较高,尤其是在可开采量的计算方面存在较大的困难。基岩裂隙水可开采量的准确计算已成为其合理开发和有效保护的关键问题之一。

目前常用的地下水可开采量的计算方法主要有水均衡法、数值法以及数理统计法等。由于基岩裂隙水赋存介质的非均质性,导致区域水文地质参数

存在较多的不确定性,往往造成数值模拟结果与实际情况存在一定的偏差,严重影响了地下水模拟结果的可靠性和准确性^[2-5],影响了基岩裂隙水的合理开发利用与有效保护。

补给带法作为一种地下水可开采量的计算方法,可以从宏观上将开采补给区简化为补给带,从而在一定程度上规避了由于基岩含水层岩性不均匀所导致的含水层渗透系数与厚度的不确定性,适用于基岩裂隙水群井开采地下水动态储存量的计算。

笔者以某水厂(以下简称“A厂”)所在区域作为地下水水资源量调查评价研究区,采用补给带法对其基岩裂隙水可开采量进行计算,并将可开采系数法与补给带法的计算结果进行对比,以便为基岩裂隙水可开采量的计算提供借鉴。

1 研究区概况

调查评价区域属于亚热带季风气候,多年平均降雨量 1 830 mm,雨量主要集中在 4—9 月,约占全年雨量的 85%,多年平均蒸发量为 1 330 mm,干旱指数为 0.73。

该区域在地质构造上属羊台山地穹的南部边缘。东部近平湖低洼,南侧紧靠深圳湾地洼,羊台山地穹及四周环绕的地洼构成了独特的以羊台山为中心的环状山地貌,整个地穹为一系列弧形断裂所切割。中部由于旋扭应力的影响,发育了北东及北西两组扭断断裂,断裂带部分已被花岗岩脉或斑岩、辉绿岩岩脉充填。地穹南部矿井田地段则被一系列走向近东西的弧形断裂所切断,从地面大采石场及钻孔揭露资料表明,这些弧形断裂破碎带发育,宽度一般在 10~25 m,具有较明显的地下水活动痕迹。笔者所调查评价的区域其地下水主要是埋藏于燕山期粗粒斑状黑云母(强风化至中风化)花岗岩裂隙及块状岩断裂破碎带中的裂隙水,其上部覆盖一层厚 4~15 m 隔水性能较好的第四系黏土及亚黏土层。

2 可开采量计算

区域水文地质调查表明,该水源地存在断层,且断层两侧水文地质条件差异较大;同时,水源地在水位降落漏斗区内分布一定范围的硅质岩脉,属于隔水地质体。因此,区域内地下水补给条件相差较大,含水带富水性不均匀,含水层厚度及渗透系数等参

数难以确定,宜采用水动力学法中的补给带法进行计算,并将可开采系数法与补给带法的计算结果进行对比及相互验证。

2.1 补给带法

1989 年 11 月 1 日至 1990 年 7 月 8 日对研究区域 4 口井(ZK1~ZK4)开展单孔抽水试验,其中单孔流量最大的为 ZK4,达到 321.05 m³/d;其次是 ZK3,达到 117.23 m³/d;流量最小的 ZK2 水位降深近 20 m,流量却不足 20 m³/d,属于极弱含水段。抽水试验稳定时间为 22.0~61.5 h。抽水试验数据见表 1,ZK4 抽水试验降落漏斗示意图见图 1。

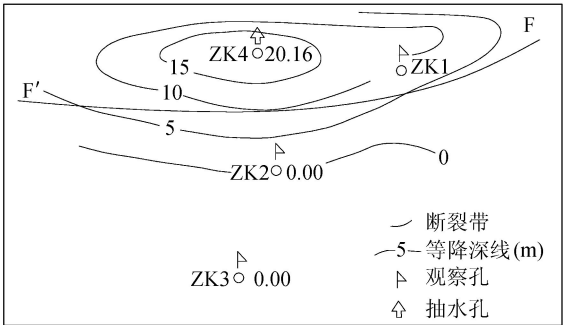


图1 ZK4 孔抽水试验降落漏斗示意图

补给带法适宜于群井开采地下水动态储存量计算,尤其是对含水层岩性不均匀、难以确定含水层渗透系数与厚度的群井开采,而且补给带法确定的地下水资源动态储存量与地下水可开采量十分接近,计算成果可以直接作为地下水资源可开采量^[5]。补给带法可采用普洛特尼科夫公式(式(1))来计算。

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i B_i}{L_i} \tag{1}$$

其中

$$L_i = \frac{2R_i}{e} \tag{2}$$

式中:Q 为可开采量,m³/d; Q_i 为 i 抽水孔或者孔群的出水量,m³/d; B_i 为 i 计算区抽水孔水流宽度,m; n 为计算区段数; L_i 为 i 计算区地下水补给带宽度,m; R_i 为 i 计算区影响半径,m; e 为校正系数,一般为 3.0~5.0。

由于研究区井田以断层为界,在断层下 20~30 m 范围内实际存在一条顺断层走向延伸的极弱含水带,ZK2 分布在该极弱含水带中,因此在评价可开采量时分别加以考虑。为了计算方便,将井田区分别划分为Ⅰ段和Ⅱ段,其中Ⅰ段井田抽水井为 ZK3,Ⅱ段井田抽水井为 ZK4,ZK1 和 ZK2 分别为观察井,如图 2 所示。

表 1 抽水试验数据统计

抽水日期	孔号	孔深/m	稳定时间/h	含水层厚度/m	滤水管平均半径/cm	静止水位/m	降深/m	涌水量/(m ³ ·d ⁻¹)	单宽涌水量/(L·s ⁻¹ ·m ⁻¹)
1989 年 11 月 1—4 日	ZK3	24.50~91.19	61.5	66.69	6.35	0.22	51.43	117.23	0.026
1989 年 10 月 28—29 日	ZK4	12.91~94.23	22.0	81.32	6.35	0.14	20.16	321.05	0.184
1990 年 7 月 6—8 日	ZK1	16.14~43.50	48.0	29.10	5.50	1.00	53.00	71.52	0.016

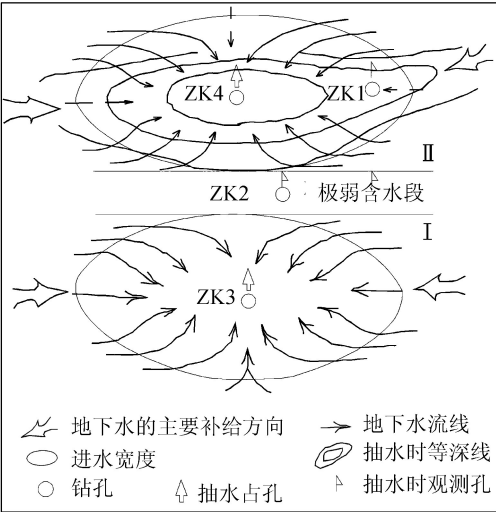


图2 A厂取水水源地可开采量计算条件示意图

I段井田内的抽水井出水量选用 ZK3 的稳定流量 229.98 m³/d,影响半径为 111.50 m,校正系数取下限值 3.0,根据式(2)可计算出补给带宽度为 74.33 m;以 5 m 等降深线作为近似椭圆,水流宽度计为 247.43 m。由此可计算出 I 段井田可开采量为 765.56 m³/d。II 段井田内的抽水井出水量选用 ZK4 的稳定流量 321.05 m³/d,其影响半径为 480.00 m,校正系数取下限值 3.0;根据式(2)可计算出补给带宽度为 320.00 m;根据水位降落漏斗分布的特点,以 5 m 等降深线作为近似椭圆,水流宽度计为 496.73 m。由此可计算出 II 段井田可开采量为 498.34 m³/d。由此,可计算出 A 厂基岩裂隙水的可开采量约为 1 264 m³/d,计算结果见表 2。

表2 A厂补给带法计算可开采量结果

区段	影响半径 R_i/m	水流宽度 B_i/m	补给带宽 L_i/m	井群出水量 $Q_i/$ ($m^3 \cdot d^{-1}$)	可开采量 $Q/$ ($m^3 \cdot d^{-1}$)
I 段	111.50	247.43	74.33	229.98	765.56
II 段	480.00	496.73	320.00	321.05	498.34
合计					1 263.90

2.2 可开采系数法

可开采系数法是一种简单、方便的计算地下水可开采量的方法,其计算公式如下:

$$Q_{\text{可开采}} = \rho Q_{\text{补给}} \tag{3}$$

其中 $Q_{\text{补给}} = 86.4MF$
式中: ρ 为可开采系数; M 为基岩地下水径流模数, $L/(s \cdot km^2)$; F 为基岩计算面积, km^2 。

该研究区域的地下水类型主要为基岩裂隙水中的块状岩类裂隙水,可开采系数取 0.7^[7]。研究区所在区域属于计算 III 区,对照枯季地下径流模数计算表,该区域实测枯季基岩裂隙水平均补给模数为 5.665 L/(s · km²)^[8]。基于研究区域水文地质条件,确定 A 厂地下水补给范围为:北部以塘郎山分水岭为界,西部以西沥水库流至深圳湾的大沙河为

界,其南部与东部以沙头坑河为界,补给范围面积为 3.89 km²(图 3)。由此可计算得 A 厂开采区基岩裂隙水的可开采量为 1 333 m³/d。

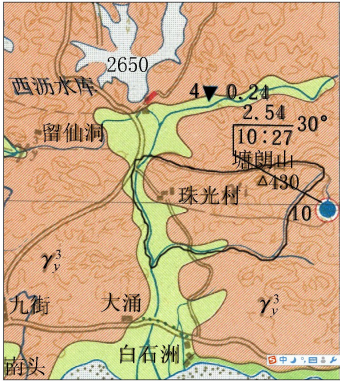


图3 A厂地下水补给范围示意图

3 结 语

利用地下水补给带法对 A 厂开采区域基岩裂隙水的可开采量进行计算,计算结果表明本开采区域基岩裂隙水的可开采量约为 1 264 m³/d。在区域水文地质普查的基础上,利用常规的可开采系数法计算了该区域基岩裂隙水的可开采量,计算结果表明本开采区域基岩裂隙水的可开采量达到 1 333 m³/d,两种方法的计算结果接近。补给带法在一定程度上规避了含水层渗透系数与厚度的不确定性,简化了基岩裂隙水动态储存量的计算难度,而且计算结果与可开采系数法接近,说明补给带法可以作为基岩裂隙水可开采量计算的方法之一。

参考文献:

[1] 陈宇,温忠辉,束龙仓. 基岩裂隙水研究现状与展望[J]. 水电能源科学,2010,28(4):62-65. (CHEN Yu, WEN Zhonghui, SU Longcang. Status and prospect of research on bedrock fissure water[J]. Water Resources and Power, 2010,28(4):62-65. (in Chinese))

[2] 吴吉春,陆乐. 地下水模拟不确定性分析[J]. 南京大学学报:自然科学版,2011,47(3):227-234. (WU Jichun, LU Le. Uncertainty analysis for groundwater modeling[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 2011, 47(3):227-234. (in Chinese))

[3] 刘佩贵,束龙仓,尚慢廷,等. 地下水可开采量可靠性分析的模糊-随机方法[J]. 水利学报,2008,39(9):1141-1145. (LIU Peigui, SHU Longcang, SHANG Manting, et al. Fuzzy-stochastic method for reliability analysis of groundwater allowable withdrawal[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008,39(9):1141-1145. (in Chinese))

(下转第 66 页)

- 库富营养化综合评价模型[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 725-731. (DENG Dapeng, LIU Gang, LI Xuede, et al. A model based on simple ensemble of neural networks for comprehensive eutrophication assessment of lake and reservoir[J]. The Journal of Ecology, 2007, 27(2): 725-731. (in Chinese))
- [4] 陈安, 罗亚田. 人工神经网络方法在环境科学领域应用进展[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(9): 65-70. (CHEN An, LUO Yatian. Artificial neural network method in environmental science field application progress [J]. Chongqing Environmental Science, 2003, 25(9): 65-70. (in Chinese))
- [5] 任黎, 董增川, 李少华. 人工神经网络模型在太湖富营养化评价中的应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004, 32(2): 147-150. (REN Li, DONG Zengchuan, LI Shaohua. Application of artificial neural network model to assessment of Taihu Lake eutrophication [J]. Journal of Hohai University: Natural Science, 2004, 32(2): 147-150. (in Chinese))
- [6] 韩涛, 李怀恩, 彭文启. 基于 MATLAB 的神经网络在湖泊富营养化评价中的应用[J]. 水资源保护, 2005, 21(1): 24-26. (HAN Tao, LI Huaen, PENG Wenqi. Application of neural network based on MATLAB toolbox to the evaluation of lake eutrophication [J]. Water Resources Protection, 2005, 21(1): 24-26. (in Chinese))
- [7] 吴利斌, 尚士友, 岳海军, 等. 利用模糊神经网络对湖泊富营养化程度进行评价的研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2004, 25(4): 67-70. (WU Libin, SHANG Shiyu, YUE Haijun, et al. Study on evaluation of eutrophication of lakes based on fuzzy neural network [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2004, 25(4): 67-70. (in Chinese))
- [8] 曾光明, 卢宏伟, 金相灿, 等. 洞庭湖水体水质状况及运用小波神经网络对营养状态的评价[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2005, 32(1): 91-94. (ZENG Guangming, LU Hongwei, JIN Xiangcan, et al. Assessment of the water quality and nutrition of the dongting lake with wavelet neural network [J]. Journal of Hunan University: Natural Science, 2005, 32(1): 91-94 (in Chinese))
- [9] 楼文高. 湖库富营养化人工神经网络评价模型[J]. 水产学报, 2001, 25(5): 474-478. (LOU Wengao. Eutrophication assessment model using artificial neural networks for lakes and reservoirs [J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(5): 474-478. (in Chinese))
- [10] VLADIMIR N. V. 统计学习理论的本质[M]. 张学工, 译. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [11] 李正最, 谢悦波. 洞庭湖富营养化支持向量机评价模型研究[J]. 人民长江, 2010, 41(10): 75-78. (LI Zhengzui, XIE Yuebo. Study on eutrophication evaluation model of Dongting Lake based on SVM [J]. Yangtze River, 2010, 41(10): 75-78. (in Chinese))
- [12] 王贵作, 任立良, 王斌, 等. 基于投影寻踪的湖泊富营养化程度评价模型[J]. 水资源保护, 2009, 25(5): 14-18. (WANG Guizuo, REN Liliang, WANG Bin, et al. Lake eutrophication evaluation model based on projection pursuit method [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(5): 14-18. (in Chinese))
- [13] 崔东文. 几种神经网络模型在湖库富营养化程度评价中的应用[J]. 水资源保护, 2012, 25(5): 12-18. (CUI Dongwen. Applications of several neural network models to eutrophication evaluation of lakes and reservoirs [J]. Water Resources Protection, 2012, 25(5): 12-18. (in Chinese))
- [14] 田景文, 高美娟. 人工神经网络算法研究及应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [15] 施彦, 韩力群, 廉小亲. 神经网络设计方法与实例分析[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2009.
- [16] MATLAB 中文论坛. MATLAB 神经网络 30 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- [17] 史峰, 王辉, 郁磊, 等. MATLAB 智能算法 30 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [18] SL395—2007 地表水资源质量评价技术规程[S].
- [19] 雷德明, 严新平. 多目标智能优化算法及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

(收稿日期: 2012-04-01 编辑: 高渭文)

(上接第 60 页)

- [4] 梁捷, 曾光明, 郭生练, 等. 渗透系数的非均质性对地下水溶质运移的影响[J]. 水利学报, 2008, 39(8): 900-906. (LIANG Jie, ZENG Guangming, GUO Shenglian, et al. Effect of hydraulic conductivity heterogeneity on solute transport in groundwater [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(8): 900-906. (in Chinese))
- [5] 季叶飞, 束龙仓, 王振龙. 地下水可开采系数计算结果的可靠性与敏感性[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2010, 38(6): 687-692. (JI Yefei, SHU Longcang, WANG Zhenlong. Reliability and sensitivity analysis of calculated results of allowable withdrawal coefficient of groundwater [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2010, 38(6): 687-692. (in Chinese))
- [6] 《水文地质手册》编写组. 水文地质手册[M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [7] 水利部水资源司. 21 世纪初期中国地下水资源开发利用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [8] 广东省地质局. 区域水文地质普查报告[R]. 广州: 广东省地质局, 1981.

(收稿日期: 2012-08-03 编辑: 徐 娟)