

阜阳市农灌区浅层地下水安全开采量评价

刘 革^{1,2}, 刘 波², 季叶飞³, 束龙仓²

(1. 中山市水库水电工程管理中心, 广东 中山 528403; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098;
3. 水利部松辽水利委员会, 吉林 长春 130021)

摘要: 针对阜阳市农灌区水文地质条件和浅层地下水运动特点, 建立区域浅层地下水多年调节计算模型, 通过调节地下水开采量使调节计算末期地下水位埋深能够恢复到起调埋深, 达到多年水均衡, 得到阜阳市浅层地下水安全开采系数与安全开采量。1956—2010年长系列的计算结果表明, 阜阳市多年平均浅层地下水总补给量为 17.856 亿 m³, 安全开采系数为 0.469, 安全开采量为 8.374 亿 m³; 结合以农灌区为主的阜阳市用水过程特点, 采用等比例法对浅层地下水安全开采量进行年内分配, 确定了阜阳市浅层地下水的年内逐月安全开采过程。

关键词: 浅层地下水; 农灌区; 安全开采系数; 安全开采量; 地下水位埋深; 阜阳市

中图分类号: TV211.1⁺² **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2015)04-0070-05

Research on safe exploitation quantity of shallow groundwater in agricultural irrigation area of Fuyang City//LIU Ge^{1,2}, LIU Bo², JI Yefei³, SHU Longcang² (1. Zhongshan Reservoir and Hydropower Project Management Center, Zhongshan 528403 China; 2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Songliao Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources, Changchun 130021, China)

Abstract: According to the hydrogeological conditions and characteristics of groundwater movement of agricultural irrigation area in Fuyang City, China, this paper proposed a regional long-term combined regulation model of shallow groundwater. By regulating the groundwater exploitation, the depth to water table at the end could be restored to the beginning, achieving the long-term balance. Then, the safe exploiting coefficient and the safe exploitation quantity are obtained. The results based on a long series (1956–2010) show that the average total recharge of shallow groundwater is $17.856 \times 10^8 \text{ m}^3$, the safe exploiting coefficient is 0.469, and the safe exploitation quantity is $8.374 \times 10^8 \text{ m}^3$. Combining with the water using characteristics of agricultural irrigation area in Fuyang City, the method of equal proportion is applied to calculate the annual distribution of the safe exploitation quantity of shallow groundwater. Finally, it is determined the monthly safe exploiting processes of shallow groundwater within one year in Fuyang City.

Key words: shallow groundwater; agricultural irrigation area; safe exploiting coefficient; safe exploitation quantity; depth to water table; Fuyang City

阜阳市位于安徽省西北部,地处淮河流域,地下水是该区的重要供水水源,也是维系区域生态平衡和地质环境稳定的重要因素^[1]。近20年来,由于人口增长,平原区农业灌溉和农村生活需水量不断增大,浅层地下水开发利用程度日益提高。浅层地下水资源量受水文气象条件波动影响较为显著,加上局部地区水质污染,使城乡供水安全和社会经济可持续发展受到影响,有必要研究农灌区浅层地下水安全开采问题,为地下水资源可持续利用提供技术支撑。

国内外有关地下水安全开采量的研究很多,自1915年以来, Lee^[2]和 Theis^[3]相继从水均衡角度提出并定义了安全开采量的概念, Todd^[4]于1959年定

义安全开采量为不产生不良后果时可以从含水层获取的水量, Demenico^[5]于1972年指出了不良后果的具体含义。近年来,王振龙等^[6]国内多位学者也对地下水安全开采量概念进行了探讨。评价地下水安全开采量的方法很多,主要有水均衡法、开采系数法、数理统计和数值模型方法等^[6-7],在实际应用中,王家兵等^[8]对天津市易发生地面沉降的地区进行了研究,认为将地面沉降量控制在10 mm/a以内的允许开采量即为深层地下水安全开采量;殷丹等^[9]采用人工神经网络方法计算了淮北地区岩溶地下水的可持续开采量; Larsona 等^[10]以地面沉降作为约束条件,采用优化算法计算了 Los Banos-Kettleman

用于农业灌溉。由于浅层地下水埋深较浅,受水文学气象因素影响明显,一旦遇到干旱年或连续干旱月,浅层地下水资源量骤减,地下水位埋深增大,会造成农作物大幅减产,例如2004年春大旱,自2003年10月至2004年4月降水量仅为97.6 mm,地下水位埋深由2.48 m增至5.93 m,造成冬小麦减产,生态环境恶化,因此研究农灌区浅层地下水安全开采意义重大。

2 浅层地下水安全开采量计算

2.1 地下水安全开采量

本文地下水安全开采量概念沿用王振龙等^[6]的定义,即在一定时期内,通过技术经济合理的取水方案,在不产生不能承受的生态环境问题,满足地下水资源、生态环境和地质环境等功能的前提下,达到地下水资源可持续开发利用的最大开采量。针对农灌区浅层地下水的补、径、排及供水特点,将地下水安全开采的目标确定为保证农业灌溉供水安全,即在一定的均衡期内,浅层地下水位正常波动的条件下,保证地下水埋深不大于最大开采埋深,同时调算末期地下水埋深使其能够恢复至调节计算初期,达到多年水均衡。

2.2 地下水均衡计算

阜阳市浅层地下水补给包括降水入渗补给、地表水入渗补给、灌溉入渗补给、侧向补给等,排泄包括地下水开采、蒸发、河道排泄,侧向流出等。通过逐年(1956—2010年)地下水均衡分析,阜阳市多年平均总补给量为17.856亿m³,总排泄量为19.908亿m³,储存量的变化量为-2.052亿m³,其中降水入渗补给量为16.196亿m³,占总补给量的90.7%,灌溉入渗补给量为0.954亿m³,地表水渗漏补给量为0.271亿m³,地下水侧向补给量为0.435亿m³,补给量按地下水均衡类型分区计算,然后分配到阜阳市各行政分区中,计算结果见表1。

表1 阜阳市各行政分区补给量统计 亿m³

行政分区	降水入渗补给量	地表水体入渗补给量	灌溉入渗补给量	侧向补给量	总补给量
阜阳市区	2.816	0.010	0.075	0.075	2.976
临泉县	2.838	0.013	0.328	0.081	3.260
太和县	3.005	0.014	0.148	0.081	3.248
颍上县	3.225	0.016	0.023	0.083	3.347
阜南县	3.256	0.163	0.234	0.086	3.739
界首市	1.056	0.055	0.146	0.030	1.286
合计	16.196	0.271	0.954	0.435	17.856

2.3 安全开采系数

土壤水是水资源转化环节的重要组成部分,农作物生长是否需要灌溉,关键取决于田间土壤含水量的多少,若土壤含水量在适宜作物生长的范围内,就不需要灌溉,否则就要考虑灌溉或排水。农灌区饱和带内,根据潜水量平衡原理,可以有:

$$\Delta W = \mu \Delta h = \alpha_g P - E - W_a - Q \quad (1)$$

式中: ΔW 为含水层水量变化量,mm; μ 为含水层的给水度; Δh 为含水层水位变幅,mm; α_g 为降水入渗补给系数; P 为时段降水量,mm; E 为时段潜水蒸发量,mm; W_a 为时段弃水量,mm; Q 为时段开采量,mm。

根据阜阳市实际情况,在地下水资源调节计算中存在不引起作物受渍的最小安全地下水位埋深 D_{min} 、不产生生态环境及地质问题的最大安全地下水位埋深 D_{max} ;当时段地下水位埋深 $D_i < D_{min}$ 时,作物受渍,必须排水,适度开采地下水是安全的,此时的安全开采系数为1;当 $D_{min} \leq D_i \leq D_{max}$ 时,抽水井可以正常抽水;当 $D_i > D_{max}$ 时,为破坏时段,需调整开采方案,减小开采量或停止开采,使地下水位埋深恢复到小于 D_{max} 。由此得到地下水多年调节计算数学模型如下:

$$\eta = \begin{cases} 1 & D_i < D_{min} \\ (\alpha_g P - E - W_a) / \alpha_g P & D_{min} \leq D_i \leq D_{max} \\ 0 & D_i > D_{max} \end{cases} \quad (2)$$

$$Q_{安} = \eta Q_{总补} \quad (3)$$

式中: η 为时段安全开采系数; D_i 为时段地下水位埋深,m; D_{min} 为最小安全地下水位埋深,m; D_{max} 为最大安全地下水位埋深,m; $Q_{安}$ 为安全开采量,亿m³; $Q_{总补}$ 为总补给量,亿m³。

根据各县区土壤岩性和起调埋深的不同,阜阳市分为5个计算分区(图3),分别计算确定各分区的安全开采系数和安全开采量。由水文地质资料得各分区计算参数如表2所示。

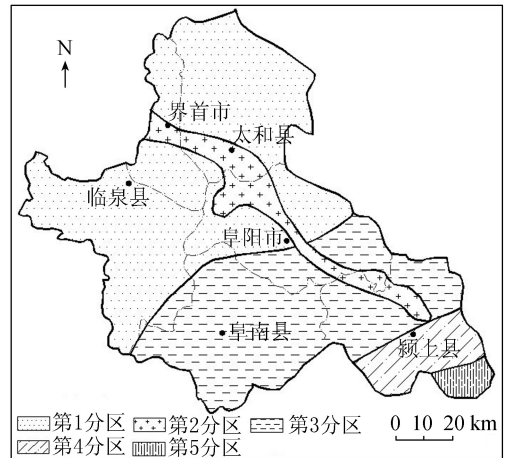


图3 阜阳市计算分区

表2 各分区计算参数

分区编号	土壤岩性	μ	起调埋深/m	D_{min}/m	D_{max}/m
1	亚黏土、亚砂土互层	0.040	2.81	0.51	10.00
2	粉砂土、亚黏土互层	0.045	3.40	0.51	10.00
3	亚黏土	0.035	3.49	0.49	8.00
4	黏土	0.030	2.07	0.45	8.00
5	亚黏土	0.035	2.49	0.45	8.00

表3 各行政分区地下水安全开采量(1956—2010年)

行政分区	总补给量/ 亿 m ³	安全开采 系数	安全开采量/ 亿 m ³	2010 年实际 开采量/亿 m ³
阜阳市区	2.976	0.455	1.354	1.222
临泉县	3.260	0.473	1.542	1.682
太和县	3.248	0.532	1.728	1.147
颍上县	3.347	0.368	1.232	0.818
阜南县	3.739	0.506	1.892	1.184
界首市	1.286	0.487	0.626	0.771
合计	17.856	0.469	8.374	6.824

针对灌区地下水水位动态特征,采用上述地下水多年调节计算模型对阜阳市浅层地下水水位动态特征进行模拟。调节地下水开采量,当调算末期地下水埋深恢复至起调埋深时,达到多年水均衡,可得到安全开采系数与安全开采量。以第4分区为例,多年旬降水量过程及水均衡模拟计算结果如图4~6所示,调算末期地下水埋深恢复到调算初期的2.07 m。

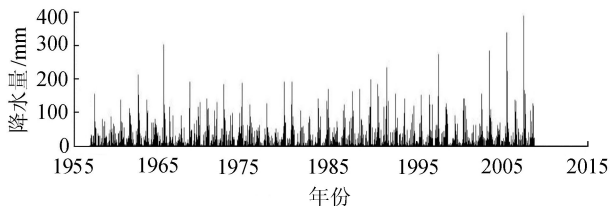


图4 旬降水量随时间变化过程

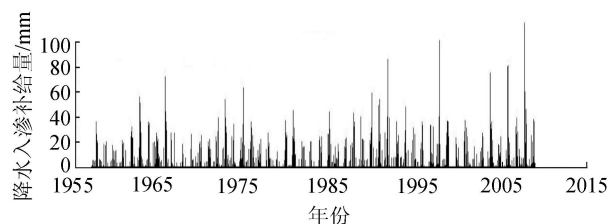


图5 旬降水入渗补给量随时间变化过程

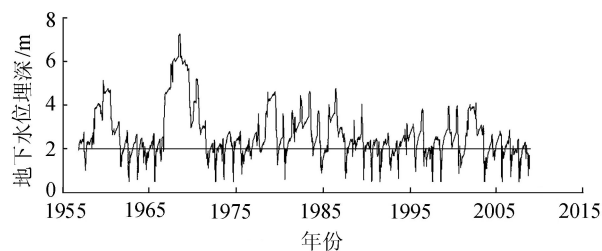


图6 旬地下水埋深随时间变化过程

3 结果分析

3.1 浅层地下水安全开采量

以旬为计算时段,调节计算期为1956年10月至2010年9月,共54个灌溉年,1944个时段。灌溉年是10月至次年9月,其中10—12月以及1—5月为非汛期,6—9月为汛期。以第4分区为例,起调埋深为2.07 m,在调节计算期内,地下水埋深均在最大开采埋深8 m以内,能够保证充足的灌溉水量。分别对各分区进行上述调节计算,得到各分区安全开采系数和安全开采量,然后按照面积权重将其分配到各行政分区,得到各县区地下水安全开采系数与安全开采量(1956—2010年)如表3所示。

从表3可以看出,地下水安全开采量不仅取决于该地区的总补给量,还取决于安全开采系数。阜阳市浅层地下水安全开采系数为0.469,安全开采量为8.374亿m³。受水文地质条件和下垫面条件

差异影响,不同分区安全开采系数不同,其中太和县最大,为0.532,颍上县最小,为0.368,其余大部分在0.473~0.506之间。

将阜阳市不同行政分区浅层地下水安全开采量与2010灌溉年(2010年10月至2011年9月)实际开采量对比发现,临泉县和界首市实际开采量超过了安全开采量,期末地下水埋深分别增至5.07 m和5.21 m,可能导致植物无法正常生长,需要调整取水结构,尽量减少浅层地下水的开采;颍上县现状开采量小于安全开采量,可以适当加大开采向其他地区输水,使浅层地下水得到更充分的利用。

3.2 年内地下水安全开采过程

浅层地下水主要的供水对象为农业灌溉和农村生活,其次是部分工业生产用水,阜阳市各供水对象的需水量具有一定的规律,一般3—5月是农灌时期,农业灌溉需水量达到一年中最大,6—11月降水丰沛,需水量减少,11月至次年1月基本不需灌溉;农村生活用水在4—10月需水量较多,11月至次年3月需水量较少;工业用水开采浅层地下水较少,且各月用水量稳定。根据不同供水对象的用水特点,确定各部门的年内逐月需水量过程,并对各部门需水量进行叠加得到逐月综合需水量,采用等比例法对地下水安全开采量进行年内分配,得阜阳市年内逐月地下水安全开采量如表4所示。

表4 阜阳市逐月需水过程及安全开采过程

月份	农业灌溉 需水量/ 亿 m ³	生活 需水量/ 亿 m ³	工业 需水量/ 亿 m ³	综合 需水量/ 亿 m ³	综合需水 过程分配 比例/%	安全 开采量/ 亿 m ³
1	0	0.198	0.140	0.338	4.24	0.355
2	0	0.198	0.140	0.338	4.24	0.355
3	0.795	0.198	0.140	1.133	14.20	1.189
4	0.795	0.213	0.140	1.148	14.39	1.205
5	0.795	0.213	0.140	1.148	14.39	1.205
6	0.159	0.213	0.140	0.512	6.42	0.538
7	0.318	0.213	0.140	0.671	8.41	0.704
8	0.318	0.213	0.140	0.671	8.41	0.704
9	0.318	0.213	0.140	0.671	8.41	0.704
10	0.159	0.213	0.140	0.512	6.42	0.538
11	0.159	0.198	0.140	0.497	6.23	0.522
12	0	0.198	0.140	0.338	4.24	0.355
全年	3.816	2.481	1.680	7.977		8.374

由表4可见,农灌期3—5月合计开采量为

3.599 亿 m^3 , 约占年安全开采量的 42.98%; 6—9 月为雨季, 灌溉水量减少, 需水量也相应减少, 开采量为 2.65 亿 m^3 , 约占年安全开采量的 31.65%; 12 月至次年 2 月农业灌溉基本停止, 地下水开采量很少, 为 1.065 亿 m^3 , 占年安全开采量的 12.72%, 主要用于农村生活和少量的工业生产用水。

4 结 语

阜阳市浅层地下水位埋深浅、易开发, 地下水水位主要受开采和水文气象影响, 开采的地下水主要用于农业灌溉, 其次用于农村生活和工业生产。针对阜阳市农灌区地下水运动特点, 采用地下水多年调节计算模型对地下水水位动态特征进行模拟, 以调节计算末期地下水位埋深恢复到起调埋深为目标, 得到阜阳市安全开采系数为 0.469, 安全开采量为 8.374 亿 m^3 ; 不同分区安全开采系数及相应的安全开采量不同。根据需水过程, 采用等比例法确定了年内地下水安全开采过程, 计算结果可为阜阳市浅层地下水安全开采提供可靠依据。

参考文献:

[1] 汪超培, 计岭. 安徽淮北平原水文地质条件与供水引发的环境地质问题分析[J]. 地下水, 2011, 33(5): 115-116. (WANG Chaopei, JI Ling. Analysis of environmental geological problems caused by hydrology and geological conditions and water supply of Anhui Huaibei plain[J]. Groundwater, 2011, 33(5): 115-116. (in Chinese))

[2] LEE C H. The determination of safe yield of underground reservoirs of the closed basin type [J]. Transactions American Society of Civil Engineers, 1915, 78: 148-151.

[3] THEIS C V. The source of water derived from wells; essential factors controlling the response of an aquifer to development [J]. Civil Engineering, 1940, 10(5): 277-280.

[4] TODD D K. Groundwater Hydrology [M]. New York:

Wiley, 1959.

[5] DOMENICO P. Concepts and models in groundwater Hydrology [M]. New York: McGraw Hill, 1972.

[6] 王振龙, 鲁程鹏, 刘猛. 地下水安全开采量的概念与评价[J]. 水文, 2010, 30(2): 14-19. (WANG Zhenlong, LU Chengpeng, LIU Meng. Concept and estimation of safe yield of groundwater systems [J]. Journal of China Hydrology, 2010, 30(2): 14-19. (in Chinese))

[7] 王金生, 王长申, 滕彦国. 地下水可持续开采量评价方法综述[J]. 水利学报, 2006, 37(5): 525-533. (WANG Jinsheng, WANG Changshen, TENG Yanguo. Review on assessment methods of groundwater sustainable yield [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(5): 525-533. (in Chinese))

[8] 王家兵, 崔爱敏. 天津深层地下水安全开采量[J]. 技术经济研究, 2007(7): 32-34. (WANG Jiabing, CUI Aimin. Safe output of the deep groundwater in Tianjin [J]. Study on Technical Economy, 2007(7): 32-34. (in Chinese))

[9] 殷丹, 许春东, 束龙仓, 等. 淮北市岩溶地下水可持续开采量及临界水位的确定[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7): 25-28. (YIN Dan, XU Chundong, SHU Longcang, et al. Research on sustainable exploitation yield and critical water level of karst groundwater in Huaibei City [J]. Water resources and Power, 2012, 30(7): 25-28. (in Chinese))

[10] LARSONA K J, MARINO M, BASSAGAOLU H. Prediction of optimal safe ground water yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model [J]. Journal of Hydrology, 2001, 242(1): 79-102.

[11] 王振龙, 高建峰. 实用土壤墒情监测预报技术 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.

[12] 王晓红, 侯浩波. 浅谈地下水对作物生长规律的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2006, 2(3): 13-16. (WANG Xiaohong, HOU Haobo. The influence of shallow groundwater on crops growth laws [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 2(3): 13-16. (in Chinese))

(收稿日期: 2014-03-06 编辑: 郑孝宇)

(上接第 58 页)

[6] 闫军, 付中敏, 陈婧, 等. 长江中游藕池口水道河床演变及航道条件分析[J]. 水运工程, 2012(1): 99-104. (YAN Jun, FU Zhongmin, CHEN Jing, et al. River-bed evolution and navigation condition of Ouchikou waterway in the middle Yangtze River [J]. Port and Waterway Engineering, 2012(1): 99-104. (in Chinese))

[7] 何传金. 长江中游荆江河段航道治理思路、对策及初步成效[J]. 水运工程, 2012(10): 11-17. (HE Chuanjin. Waterway regulation ideas, countermeasures and initial effects for Jingjiang reach in middle Yangtze River [J]. Port and Waterway Engineering, 2012(10): 11-17. (in Chinese))

[8] 左利钦, 陆永军, 季荣耀, 等. 下荆江窑监河段河床演变及整治初步研究[J]. 水利水运工程学报, 2011(4): 39-45. (ZUO Liqin, LU Yongjun, JI Rongyao, et al. Evolution and regulation of Yaojian reach in the middle Yangtze River [J]. Hydro-Science and Engineering, 2011(4): 39-45. (in Chinese))

[9] 乐培九, 张华庆, 李一兵. 坝下冲刷 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2013: 5-6.

[10] 罗保平, 祁茂文, 冯刚, 等. 长江中游碾子湾水道航道整治工程可行性研究报告 [R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2002: 32-34.

(收稿日期: 2014-05-13 编辑: 郑孝宇)