

三江平原井灌区地下水人工回灌量测算

刘东¹, 张健², 付强¹

(1. 东北农业大学 水利与建筑学院, 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江农垦总局红兴隆分局水务局, 黑龙江 双鸭山 155100)

摘要:针对近些年来三江平原大面积发展井灌水稻所导致的地下水位持续下降问题,以 853 农场为例,采用水量均衡法,测算了 853 农场 2006—2009 年维持地下水收支平衡及地下水恢复至适宜埋深条件下的人工回灌量,结果表明:维持地下水收支平衡所需回灌量均小于 5 000 万 m³;地下水恢复至适宜埋深所需回灌量均为 2 亿 m³ 左右,远远超过维持地下水收支平衡所需回灌量;若继续沿用现状地下水利用模式,未来所需回灌量会更大,建议当地加大地下水资源管理力度。研究成果为 853 农场乃至整个三江平原地下水资源恢复及可持续利用提供了科学依据。

关键词:三江平原;井灌区;地下水;水量均衡法;人工回灌量

中图分类号:S273.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0240-04

Estimation of Groundwater Artificial Recharge Quantity in Area of Well Irrigation in Sanjiang Plain

LIU Dong¹, ZHANG Jian², FU Qiang¹

(1. School of Water Conservancy & Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Water Affairs Bureau of Hongxinglong Branch Bureau of Land Reclamation General Bureau in Heilongjiang Province, Shuangyashan, Heilongjiang 155100, China)

Abstract: In recent years, the rapid increase of well irrigation paddy field area has led to continually descending of groundwater level in Sanjiang Plain. Aimed at the problem mentioned above, the artificial recharge quantities from 2006 to 2009 under the condition of maintaining the groundwater balance and recovering the groundwater to suitable burial depth were estimated in Farm 853 through using the water balance method. The results show that the artificial recharge quantities of maintaining the groundwater balance are all less than 5×10^7 m³, and the artificial recharge quantities of recovering the groundwater to suitable burial depth are all about 2×10^8 m³, which are far greater than the artificial recharge quantities of maintaining the groundwater's balance. If the utilization pattern of groundwater resources is maintained, the artificial recharge quantities will be greater in the future, so local government should reinforce the management strength towards groundwater resources. The research achievements can provide scientific gist for groundwater resources recovery and its sustainable utilization in Farm 853 and even the entire Sanjiang Plain.

Key words: Sanjiang Plain; well irrigation area; groundwater; water balance method; artificial recharge quantities

三江平原位于黑龙江省东部,为黑龙江、松花江、乌苏里江的冲积平原,是国家重要的商品粮基地与国家级生态功能区^[1]。长期以来,三江平原由于缺少控制性工程,地表水利用率不高,农业灌溉主要以开发地下水为主。为了解决土壤质地粘重、排水能力差、很容

易形成涝灾而减产的问题^[2],从 20 世纪 80 年代开始,三江平原掀起了打井种稻的热潮^[3]。1986 年,三江平原水田面积为 57.7 万 km²^[4](井灌仅占 13.3%^[5]),而到 2000 年,水田面积发展为 95.3 万 km²(井灌占 69.2%^[6]),目前,三江平原井灌水稻比例约为 80% 左右^[7]。在

收稿日期:2011-07-18

修回日期:2011-09-30

资助项目:国家自然科学基金(41071053);中国博士后科学基金特别资助(201003410);高等学校博士学科点专项科研基金(20102325120009);黑龙江省自然科学基金(C201026);黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11541024);东北农业大学博士启动基金(2009RC37)

作者简介:刘东(1972—),男,黑龙江安达人,教授,博士,博士生导师,主要研究方向为农业水土资源系统分析与优化利用。E-mail:liudong5511@sina.com

通信作者:付强(1973—),男,辽宁锦州人,教授,博士,博士生导师,主要从事农业水土资源系统分析与优化利用方面研究。E-mail:fuqiang@neau.edu.cn

高强度地下水开采影响下,导致三江平原地下水位普遍下降(平均降幅为 2.5 m 左右^[1]),引起了各界的高度关注。此种背景下,三江平原地下水位急需修复。三江平原地下水位仅靠降水的自然补给是很难恢复的,而地下水人工补给(人工回灌^[8])是修复区域地下水的有效途径。因此,本文尝试以三江平原 853 农场为例,对其地下水人工回灌量进行匡算,从而为当地地下水资源科学管理提供依据。

1 地下水人工回灌量测算方法

目前,国内学者多采用水量均衡法测算区域地下水人工回灌量,具体公式如下^[9]:

$$\mu \cdot \Delta h \cdot F = Q_{\text{补}} - Q_{\text{排}} \quad (1)$$

式中: μ ——潜水体给水度; Δh ——计算时段内地下水位变幅(m); F ——回灌区面积(km²); $Q_{\text{补}}$ ——计算时段内地下水总补给量(亿 m³); $Q_{\text{排}}$ ——计算时段内地下水总排泄量(亿 m³)。

地下水总补给量 $Q_{\text{补}}$ 包括地下水自然补给量 $Q_{\text{自补}}$ 和地下水人工补给量(人工回灌量) $Q_{\text{回灌}}$, 若 $Q_{\text{自补}} < Q_{\text{排}}$, 则需要进行人工回灌。

1.1 地下水自然补给量

地下水自然补给包括降水入渗补给、河道渗漏补给、地下含水层侧向补给以及相邻含水层间的越流补给^[10], 各补给方式补给量计算公式如下^[11]:

(1) 降水入渗补给量。

$$Q_{\text{降补}} = \alpha \cdot P \cdot F \quad (2)$$

式中: $Q_{\text{降补}}$ ——降水入渗补给量(亿 m³/a); α ——降水入渗补给系数; P ——计算区年降雨量(mm); F ——计算区接受降水入渗补给面积(km²)。

(2) 河道渗漏补给量。河道渗漏补给量经常采用水文分析法推求, 计算公式为:

$$Q_{\text{河补}} = (Q_u - Q_l)(1 - \lambda) \frac{L}{L'} \quad (3)$$

式中: $Q_{\text{河补}}$ ——上下两个测水站间的河道渗漏补给量(亿 m³/a); Q_u, Q_l ——上、下游测水站(应尽量利用现有水文站)实测水量(亿 m³/a); λ ——两测站间水面蒸发量与两岸浸润带蒸发量之和占($Q_u - Q_l$)的比率, 应通过试验确定, 一般仅占渗漏补给量的 5% 左右; L ——计算河道(段)的长度(km); L' ——两测站间的河道(段)长度(km), 一般应 ≥ 1 km。

若测水段有区间来水 $Q_{\text{来}}$, 则应计入 Q_u 中; 若测水段有区间引水 $Q_{\text{引}}$, 则应计入 Q_l 中。

(3) 含水层侧向补给量。地下含水层侧向补给量(也称为潜水径流量)可以采用达西定律计算, 计算公式为:

$$Q_{\text{侧补}} = k \cdot B \cdot h \cdot i \quad (4)$$

式中: $Q_{\text{侧补}}$ ——地下含水层侧向补给量(亿 m³/a); k ——含水层渗透系数(m/d); B ——垂直水流流向的过水断面宽度(m); h ——最低水位时含水层厚度(m); i ——水力梯度。

(4) 越流补给量。相邻含水层间的越流补给量可以采用达西定律计算, 计算公式为:

$$Q_{\text{越补}} = k' \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{M'} = k_l \cdot A \cdot \Delta h \quad (5)$$

式中: $Q_{\text{越补}}$ ——相邻含水层间的越流补给量(亿 m³/a); k' ——相对隔水层的垂直渗透系数(m/d); A ——计算过水面积(m²); Δh ——深层承压水与浅层潜水的水头差(m); M' ——相对隔水层厚度(m); $k_l = k'/M'$ ——越流系数[m/(d·m)]。

1.2 灌溉回归补给量

灌溉回归补给量是指采用地表水或地下水灌溉后, 通过入渗回归补给地下水的数量, 计算公式为^[12]:

$$Q_{\text{灌补}} = Q_{\text{田}} \cdot \beta \quad (6)$$

式中: $Q_{\text{灌补}}$ ——灌溉回归补给量(亿 m³/a); $Q_{\text{田}}$ ——田间灌溉用水量, 一般采用净灌溉定额乘以灌溉面积求得(亿 m³/a); β ——灌溉回归系数。

1.3 地下水排泄量

地下水排泄量主要包括潜水蒸发量、河道排泄量、侧向排泄量、越流排泄量及人工开采量等, 各种排泄量计算方法可参考文献^[12], 此处不再赘述。

2 实例分析

853 农场位于黑龙江省三江平原东部, 隶属于黑龙江省农垦总局红兴隆分局, 地处 46°21'—46°49'N, 132°38'—133°14'E, 土地总面积 1 181.7 km², 其中耕地面积 541.7 km²^[13], 拥有燕窝岛省级自然保护区。853 农场是一个以种植麦、豆、玉米、水稻为主的大型机械化国营农场, 1995 年, 为了改良低湿地开始种植水稻。1995—2005 年, 853 农场的水田面积由 0.16 万 hm² 激增到 2.67 万 hm² (69% 为井灌水稻)^[14]。据调查, 近些年来, 853 农场地下水开采量平均为 8 280 万 m³/a 左右, 已接近当地地下水评价可开采量 (8 750 万 m³/a), 地下水开采强度较高。据统计, 由于井灌水田面积逐年增加, 导致 853 农场在 1991—1998 年 8 a 间, 地下水位平均降幅为 0.3 m/a, 1999—2004 年 6 a 间, 地下水位平均降幅为 0.7 m/a 左右。地下水位的持续下降已经严重破坏了当地地下水资源的供需平衡, 因此有必要对 853 农场的地下水人工回灌量进行匡算, 从而为当地地下水资源科学管理提供参考。

2.1 降水入渗补给量

从红兴隆分局气象台收集到 853 农场 2006—2009 年的实测年降水序列资料,参考相关资料,853 农场降水入渗补给系数 $\alpha=0.04$,接受降水入渗补给面积 $F=920.52 \text{ km}^2$ 。根据式(2)计算 853 农场 2006—2009 年的降水入渗补给量,见表 1。

表 1 2006—2009 年 853 农场降水入渗补给量

项目	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
降水量/mm	550.5	467.8	399.1	564.5
降水入渗补给量/万 m^3	2027	1722	1470	2079

注:表中计算降水入渗补给量所需参数降水入渗补给系数 α 及接受降水入渗补给面积 F 来源于《黑龙江垦区红兴隆分局九个农场第四系浅层地下水资源调查与评价报告》。

2.2 其它自然补给量

参考相关资料,853 农场的地下水侧向径流补给量 $Q_{\text{侧补}}=2836 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。853 农场境内河流总长度为 263 km,一些河流已经断流(例如宝清河),同时考虑到降水入渗补给为 853 农场地下水主要补给来源,因此,此次计算中忽略河道渗漏补给量及越流补给量。

2.3 灌溉回归补给量

由于 853 农场旱田基本未灌溉,因此只计水田灌溉回归补给量。从 853 农场水务局收集到 853 农场 2006—2009 年的水田种植面积资料,见表 2。参考黑龙江省地方标准 DB23/T727—2003,水稻净灌溉定额按 $7\,000 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 计。参考相关资料,853 农场灌溉回归系数 $\beta=0.06$ 。按照式(6)对 2006—2009 年

853 农场水田灌溉回归补给量进行估算,见表 2。

表 2 2006—2009 年 853 农场灌溉回归补给量估算结果

项目	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
水田面积/ hm^2	25600.0	25706.7	25400.0	25086.7
灌溉回归补给量/万 m^3	1075	1080	1067	1054

注:表中计算水田灌溉回归补给量所需参数灌溉回归系数 β 来源于《黑龙江垦区红兴隆分局九个农场第四系浅层地下水资源调查与评价报告》。

2.4 地下水排泄量

由于 853 农场地下水埋深较大,地下水平均水力坡度为 $1/5\,000$,水流缓慢,因此忽略潜水蒸发量、河道排泄量和越流排泄量。参考相关资料,853 农场的地下水侧向排泄量 $Q_{\text{侧排}}=1542 \text{ 万 m}^3/\text{a}$ 。从 853 农场水务局收集到 853 农场 2006—2009 年的地下水开采量资料,见表 3。

2.5 地下水人工回灌量

(1)维持地下水收支平衡所需回灌量。对 853 农场 2006—2009 年地下水资源进行均衡计算,若出现负均衡,为了维持地下水收支均衡,则需要进行地下水人工回灌。若要维持 853 农场地下水收支平衡,使得地下水位不再下降,则地下水位年变幅 $\Delta h=0$ 。参考相关资料,853 农场潜水层给水度 $\mu=0.04$ 。回灌区面积 F 见前述。根据式(1)对 853 农场维持地下水收支平衡所需回灌量进行估算,计算结果见表 3。由表 3 的地下水均衡计算结果可知,853 农场 2006—2009 年的地下水资源将出现负均衡,因此需要进行人工回灌。

表 3 2006—2009 年 853 农场维持地下水收支平衡所需回灌量

年份	补给收入/万 m^3			排泄支出/万 m^3		μ	人工回灌量/ 万 m^3
	$Q_{\text{降水}}$	$Q_{\text{侧补}}$	$Q_{\text{灌溉}}$	$Q_{\text{侧排}}$	$Q_{\text{开采}}$		
2006	2027		1075		5140		744
2007	1722		1080		7830		3734
2008	1470	2836	1067	1542	7860	0.04	4029
2009	2079		1054		8553		4126

注:①表中地下水侧向径流补给量 $Q_{\text{侧补}}$ 、潜水层给水度 μ 来源于《黑龙江垦区红兴隆分局九个农场第四系浅层地下水资源调查与评价报告》;②表中地下水侧向排泄量 $Q_{\text{侧排}}$ 来源于《三江平原区域开发“六·五”攻关八五三示范区农业自然资源详查报告》。

(2)地下水恢复至适宜埋深所需回灌量。上述人工回灌方案仅能维持 853 农场地下水资源的收支平衡,而对于地下水位的恢复则显得无能为力。据有关资料,三江平原井灌区有利于作物生长、土壤改良及采

补平衡的适宜地下水埋深为 5 m 左右^[15-16]。从 853 农场水务局收集到 853 农场 2006—2009 年的平均地下水埋深实测资料,见表 4。采用式(1)对 853 农场地下水恢复至适宜埋深所需回灌量进行估算,结果见表 4。

表 4 2006—2009 年 853 农场地下水恢复至适宜埋深所需回灌量

年份	地下水埋深/m			补给收入/ 万 m^3	排泄支出/ 万 m^3	μ	人工回灌量/ 万 m^3
	平均值	适宜值	Δh				
2006	9.4		4.4	5938	6682		16945
2007	9.0		4.0	5638	9372		18462
2008	9.7	5.0	4.7	5373	9402	0.04	21335
2009	10.5		5.5	5969	10095		24377

注:①表中补给收入由表 3 中 $Q_{\text{降水}}$ 、 $Q_{\text{侧补}}$ 、 $Q_{\text{灌溉}}$ 相加而得;②表中排泄支出由表 3 中 $Q_{\text{侧排}}$ 、 $Q_{\text{开采}}$ 相加而得。

由表4可以看出,将853农场地下水恢复至适宜埋深所需人工回灌量是非常大的。因此,若要在短期内迅速修复地下水是不现实的。随着我国经济实力的与日俱增,853农场可以在国家的资助下通过工程措施拦蓄雨洪资源,建立雨水回灌系统^[17],使当地的地下水位逐步得到恢复。

3 结论

在高强度农业开发的驱动下,区域地下水位持续下降问题已经引起了各界的高度关注。地下水人工回灌是修复区域地下水位的有效手段。本文在预测853农场年降水量及年平均地下水埋深的基础上,通过地下水量均衡计算,对853农场2006—2009年不同条件下的地下水人工回灌量进行了匡算,结果表明:若要维持地下水收支平衡,则所需回灌量较小,均不超过5 000万 m^3 ;若要使地下水恢复至适宜埋深,则所需回灌量很大,均在2亿 m^3 左右,远远超过维持地下水收支平衡所需回灌量。若继续沿用现有的地下水开采模式,未来853农场使地下水恢复至适宜埋深所需回灌量会更大,建议当地大力推广水稻节水灌溉技术,有效涵养地下水资源,从而减小地下水人工回灌工程的规模。当然,地下水人工回灌工程所需投资巨大,面对我国国情,究竟采取何种融资形式,需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘正茂,夏广亮,吕宪国,等.近50年来三江平原水循环过程对人类活动和气候变化的响应[J].南水北调与水利科技,2011,9(1):68-74.
- [2] 陶洁,张兴波.发展水稻生产是三江平原抗旱除涝的一项有效措施[J].黑龙江水利科技,2010,38(3):214-215.
- [3] 赵清,丁红,刘东.支持向量机在三江平原井灌水稻需水量预测中的应用[J].水资源与水工程学报,2010,21(2):72-74.
- [4] 黄妮,刘殿伟,王宗明.1986—2005年三江平原水田与旱地的转化特征[J].资源科学,2009,31(2):324-329.
- [5] 沃晓岚,孙香泰,彭振.三江平原地区地下水资源开发利用状况及可持续利用对策[J].黑龙江水利科技,2009,37(4):45-46.
- [6] 王韶华,田园.三江平原地下水埋深变化及成因的初步分析[J].灌溉排水学报,2003,22(2):61-64.
- [7] 刘正茂,夏广亮,赵艳波.三江平原地下水开采对生态过程的影响[J].水利发展研究,2006(12):38-41.
- [8] 谢乐云,杨文涛.浅谈地下水人工补给问题[J].西部探矿工程,2003(9):174-175.
- [9] 丁昆仑.人工回灌地下水的有效途径和方法探讨[J].中国农村水利水电(农田水利与小水电),1996(1/2):14-17.
- [10] 张元禧,施鑫源.地下水水文学[M].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [11] 张顺联.地下水水文学[M].北京:水利电力出版社,1986.
- [12] 张顺联.地下水资源计算与评价[M].北京:水利电力出版社,1992.
- [13] 张臣,林湘杰,谭玉龙.浅析八五三农场水土流失成因及治理措施[J].科技创新导报,2010(20):136.
- [14] 吕文龙.浅议八五三农场水资源量及水资源开发利用现状[J].水利科技与经济,2008,14(12):1007-1008.
- [15] 王立权,王忠玉,姚章村.井水增温对水稻产量的影响研究[J].黑龙江水专学报,2005,32(4):56-58.
- [16] 袁斌,杜绍敏,杨伟清,等.三江平原浅层地下水超采问题探讨(二)[J].黑龙江水专学报,2008,35(1):18-21.
- [17] 李怀正,白月华,邢绍文,等.雨水回灌地下的必要性和可行性[J].中国给水排水,2002,18(4):29-30.