

北京西郊农场节水型 农业示范区的地下水资源

叶水根^①

(水利与土木工程学院)

摘要 通过对北京西郊农场节水型农业示范区地下水资源的调节计算,建立了地下水动态预测模型,并得到了不同年份地下水的允许开采量。用此模型预测了2010年的地下水动态。预测结果表明:该地区地下水严重超采,按现在的开采水平到2010年地下水水位埋深将达54.2m;节水灌溉可明显减缓地下水水位的下降。

关键词 地下水资源;地下水动态;允许开采量;节水灌溉

中图分类号 P641.8

Study on Groundwater Resources of Water-saving Demonstration Area in Beijing Xijiao Farm

Ye Shuigen

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU)

Abstract By regulating calculation for groundwater resources of the water-saving demonstration area in Beijing Xijiao farm, a dynamic prediction model on groundwater is developed and the capacity of groundwater, allowed to be exploited in different years are obtained. Using this model groundwater dynamic in 2010 is forecast. The results show that groundwater resources is being seriously over-exploited, hidden-depth of groundwater level will drop to 54.2m at 2010, and the descending of the groundwater level can clearly be retarded by the economy-water irrigation.

Key words groundwater resources; groundwater dynamic; allowable capacity of exploitation; economy-water irrigation

北京地区地下水超采情况日益严重,已形成大范围的地下水下降漏斗。笔者通过研究报告北京近郊地下水开采、补给以及到2010年地下水水位变化的情况,以期引起有关方面的关注。

1 自然地理、水文地质概况

西郊农场位于北京市海淀区北部,面积为38.18km²,全部为平原区。农场北部有北沙河沿

收稿日期:1996-01-09

①叶水根,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)57信箱,100083

边界由西向东流过,平时干涸无水,雨季是地面径流的天然排水河道;南部有南沙河由西向东流过;中部有库容为200万 m³的上庄水库,是地表水灌溉的主要水源。农场年平均降水量610.9 mm,6~9月份的降水量占全年总降水量的80%~85%;年蒸发量1800~2000mm。

农场水文地质单元位于南口冲积扇的前缘,西北部为永定河冲积洪积扇的边缘地区。地面

岩性为亚粘土、亚砂土和粘土。剖面上除粘性土和砂性土层之外,还有一些细中粗砂和砂砾石及砂砾卵石层,粘土广泛且单层厚度大。这些地层以互层的方式组成本区巨厚的第四系沉积层,南部较薄,为200~300m;中部为400~500 m;北部最厚,为600~700m。100m 以内含水层厚度达20~30m,北部为多层砂砾卵石含水层;南部为多层砂层含水层(如图1所示)。这就决定了本区含水层富水性为北部相对富水,单井出水量大于1500m³d⁻¹;南部相对贫水,单井出水量小于1500m³d⁻¹。

本区地下水的主要补给来源是大气降水入渗,其次是侧向补给。地下水的流向是由西北向东南,故在农场西北部的较长地段均可接受地下水流入的侧向补给。地下水的排泄主要是人工开采和地下径流流出。

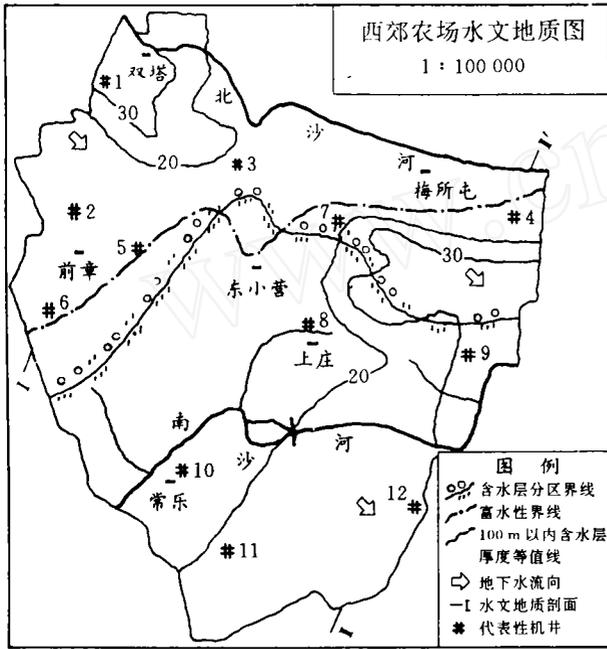


图1 西郊农场水文地质简图

2 浅层地下水的多年调节计算

2.1 降水频率

根据农场附近王家园水库雨量站1955~1993年的降水资料,计算多年降水频率值。采用配线法作皮尔逊Ⅲ型曲线^[1],得到理论频率曲线(如图2)。查得丰水年($P=25%$)、平水年($P=50%$)、偏枯水年($P=75%$)和枯水年($P=95%$)的年降水量分别为696.2,552.8,429.3,317.6mm。

2.2 均衡方程

计算单元以农场行政区划为边界,在深100m左右有一较完整稳定的不透水层,以100m作为计算深度,均衡期以 a 为单

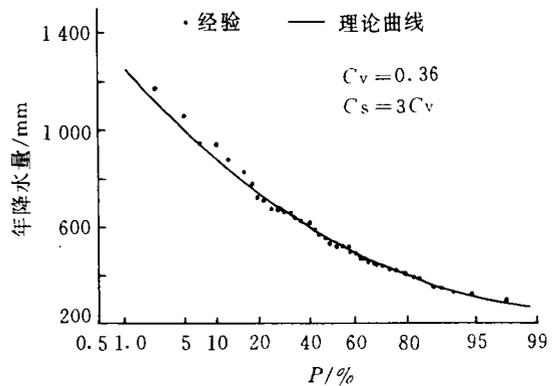


图2 降水频率曲线

位。本区地表岩性均为粘性土,从潜水等水位线可知,地表河流与地下水一般不发生补给关系,地下水埋深很大,可以认为没有蒸发;故其地下水均衡方程可表示为

$$\Delta Q = Q_p + Q_m + Q_\lambda - Q_{\text{出}} - Q_e$$

式中: ΔQ 为地下水变化量; Q_p 为降水入渗量; Q_m 为灌溉水回归量; Q_λ 和 $Q_{\text{出}}$ 分别为计算区地下水流入量和流出量; Q_e 为地下水人工开采量。单位均为万 m^3a^{-1} 。

2.3 补给量

地下水补给量主要包括降水入渗量、灌溉水回归量、地下水流入量3项(表1)。其中降水入渗量根据降水量及入渗系数(据北京市海淀区水利局资料,取为0.2)计算得到;灌溉水回归量根据农场历年的机井扬水量、南沙河扬水量及京密引水实际引入量,取回归系数为0.05(据北京市海淀区水利局资料)计算得到;地下水流入量根据地下水的流向确定流入剖面(长度 $L=5200\text{ m}$)后,测平均水力坡降 $i(=0.24\%)$,做抽水试验得到平均渗透系数 $K(=26.9\text{ m}\cdot\text{d}^{-1})$,测得剖面 100 m 以内的平均含水层厚度 $H(=23.65\text{ m})$,按公式 $Q_\lambda = 365KHLi$ 计算得到, $Q_\lambda = 289.8\text{ 万}\text{ m}^3\text{a}^{-1}$ 。

表1 地下水的补给量与消耗量

万 m^3d^{-1}

年份	降水入渗量 Q_p	灌溉水回归量 Q_m	地下水流入量 Q_λ	补给量	地下水开采量 Q_e	地下水流出量 $Q_{\text{出}}$	消耗量
1966	484.9	84.4	289.8	859.1	317.8	308.3	626.1
1967	637.5	84.8	289.8	1 012.1	326.1	308.3	634.4
1968	345.2	103.1	289.8	738.1	461.9	308.3	770.2
1969	559.9	84.8	289.8	934.9	326.1	308.3	634.4
1970	386.8	92.6	289.8	769.2	385.1	308.3	693.4
1971	404.2	92.6	289.8	786.6	385.1	308.3	693.4
1972	263.4	120.1	289.8	673.3	589.5	308.3	897.8
1973	589.8	85.4	289.8	965.0	337.9	308.3	646.2
1974	482.7	87.9	289.8	860.4	387.1	308.3	695.4
1975	325.9	106.4	289.8	722.1	528.1	308.3	836.4
1976	510.3	88.4	289.8	888.5	398.0	308.3	706.3
1977	540.4	88.8	289.8	919.0	405.7	308.3	714.0
1978	516.7	90.1	289.8	896.6	431.6	308.3	739.9
1979	408.1	95.3	289.8	793.2	488.4	308.3	796.7
1980	262.9	126.8	289.8	679.5	707.2	308.3	1 015.5
1981	371.0	99.6	289.8	760.4	536.8	308.3	845.1
1982	512.1	90.6	289.8	892.5	519.4	308.3	827.7
1983	349.6	110.7	289.8	750.1	699.8	308.3	1 008.1
1984	250.2	136.3	289.8	676.3	876.9	308.3	1 185.2
1985	359.0	118.6	289.8	767.4	854.6	308.3	1 162.9
1986	309.4	127.5	289.8	726.7	984.4	308.3	1 292.7
1987	429.5	101.2	289.8	820.5	1 069.0	308.3	1 377.3
1988	356.6	93.3	289.8	739.7	1 116.7	308.3	1 425.0
1989	316.1	94.9	289.8	700.8	1 146.8	308.3	1 455.1
1990	420.8	98.0	289.8	808.6	1 167.1	308.3	1 475.4
1991	474.1	100.8	289.8	864.7	1 262.9	308.3	1 571.2
1992	297.6	125.0	289.8	712.4	1 548.8	308.3	1 857.1
1993	252.8	118.5	289.8	661.1	1 344.0	308.3	1 652.3

2.4 消耗量

地下水消耗量包括地下水人工开采量及地下水侧向流出量 2 项。

地下水人工开采量包括农业机井扬水量和工牧业机井扬水量 2 部分。工牧业扬水量按实际扬水量计算;农业机井扬水量由于记录不全,以 1980 年为基础年份,按典型年份计算。地下水侧向流出断面由 2 个剖面组成,测定计算得剖面参数分别为长度 $L_1=2\ 500\text{ m}$,水力坡降 $i_1=0.25\%$,渗透系数 $K_1=26.9\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$,含水层厚度 $H_1=20.63\text{ m}$; $L_2=3\ 800\text{ m}$, $i_2=0.286\%$, $K_2=15.4\text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$, $H_2=29.74\text{ m}$ 。

地下水侧向流出量 $Q_{\text{出}}=365K_1H_1L_1i_1+365K_2H_2L_2i_2=308.3\text{ 万 m}^3\text{ a}^{-1}$ 。

2.5 多年调节计算

消耗量与补给量之差即为地下水的变化量,用 $\Delta Q=\mu\Delta HS\times 10^2$ 即可计算地下水水位变化值。式中: μ 为地下水水位变化带的给水度; ΔH 为地下水水位变化值(下降为正,上升为负), m ; S 为计算面积, km^2 。

进行多年调节计算时采用历时法进行均衡计算^[1],时间为 1966~1993 年,起调水位埋深为 3 m,假定埋深 3 m 以上的地下水都将全部消耗于蒸发和沟渠排泄。由于给水度值在剖面上不连续,地下水水位变化带的给水度平均值(据北京市海淀区水利局资料)按机井剖面分段计算(表 2)。

表 2 地下水变化带分段 μ 值

深度/m	μ 值	深度/m	μ 值
0~10	0.102	70~80	0.143
10~20	0.106	80~90	0.133
20~30	0.115	90~100	0.121
30~40	0.127	100~110	0.136
40~50	0.132	110~120	0.114
50~60	0.122	120~130	0.111
60~70	0.125		

表 3 地下水多年调节计算表

m

年份	ΔQ /万 $\text{m}^3\text{ a}^{-1}$	ΔH	多年调 节水位	年变幅	总埋深	年份	ΔQ /万 $\text{m}^3\text{ a}^{-1}$	ΔH	多年调 节水位	年变幅	总埋深
1966	-233.0	-0.598	3.000	1.608	4.608	1980	336.0	0.863	3.872	1.419	5.291
1967	-377.7	-0.970	3.000	1.629	4.629	1981	84.7	0.217	4.089	1.697	5.786
1968	32.1	0.082	3.082	1.631	4.713	1982	-64.8	-0.166	3.923	2.059	5.982
1969	-300.1	-0.771	3.000	1.629	4.629	1983	258.0	0.663	4.586	1.642	6.228
1970	-75.8	-0.195	3.000	1.737	4.737	1984	508.9	1.307	5.893	1.387	7.280
1971	-93.2	-0.239	3.000	1.781	4.781	1985	395.5	1.015	6.908	1.666	8.574
1972	224.5	0.576	3.576	1.421	4.997	1986	566.0	1.453	8.361	1.539	9.900
1973	-318.8	-0.819	3.000	1.659	4.659	1987	556.8	1.430	9.791	1.785	11.576
1974	-165.0	-0.324	3.000	1.786	4.786	1988	685.3	1.701	11.492	1.597	13.089
1975	114.3	0.293	3.293	1.581	4.874	1989	754.3	1.864	13.356	1.497	14.853
1976	-182.2	-0.468	3.000	1.814	4.814	1990	666.8	1.648	15.004	1.756	16.760
1977	-205.0	-0.526	3.000	1.833	4.833	1991	706.5	1.746	16.750	1.888	18.638
1978	-156.7	-0.402	3.000	1.900	4.900	1992	1 144.7	2.829	19.579	1.371	20.948
1979	3.5	0.009	3.009	1.792	4.801	1993	991.2	2.291	21.870	1.236	23.106

根据多年调节计算结果(表 3)可知,自 1979 年以来,由于严重超采,西郊农场地下水一直处于负均衡状态,特别是遇到枯水年份,地下水水位下降特别快,最大达 $2.8\text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$,到 1993 年地下水埋深已达 23.1 m。调节计算结果与实际观测地下水水位年变化结果基本一致(图 3)。

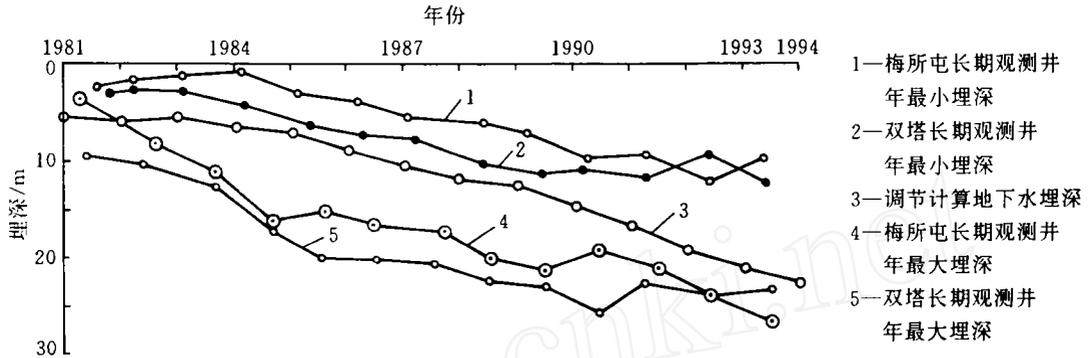


图3 双塔、梅所屯长期观测井地下水动态曲线

3 地下水的动态预测

3.1 地下水动态预测模型

农场地下水动态主要受大气降水和人工开采量 2 个因素控制,因此,选择降水量 P 和人工开采量 Q 作为多元线性回归数学模型的 2 个因子,模型为

$$\Delta H(I) = b_1 + b_2 P(I) + b_3 Q_e(I)$$

式中: b_1, b_2, b_3 为回归系数; $P(I)$ 为第 I 年的降水量, mm; $Q_e(I)$ 为第 I 年的地下水开采量, 万 $\text{m}^3 \text{a}^{-1}$; $\Delta H(I)$ 为第 I 年的地下水水位变化值, m。

根据调节计算中的降水量、地下水开采量及对应的地下水水位变化值,进行回归分析,得

$$\Delta H(I) = -1.775 \times 10^{-3} P(I) + 2.441 \times 10^{-3} Q_e(I) - 0.2467$$

即为西郊农场地下水动态预测模型。

3.2 地下水可开采量

地下水可开采量即允许开采量,指经过多年调节计算后,能使地下水达到均衡的最大开采量。根据地下水动态预测模型,即 $\Delta H(I) = 0$ 时能满足上述条件,从而得到 4 种年型的可开采量(表 4)。

表 4 4 种年型的可开采量

水 量	丰水年 (25%)	平水年 (50%)	偏枯水年 (75%)	枯水年 (95%)
降水量/mm	696.2	552.8	429.3	317.6
可开采量/万 $\text{m}^3 \text{a}^{-1}$	607.3	503.0	413.2	332.0

3.3 降水量预测

根据 1955~1993 年王家园站降水量资料,采用调和分析法^[2],得到 1994~2010 年的降水量预测值(表 5)。

3.4 不同开采水平下的地下水动态预测

3.4.1 常规灌溉

在常规灌溉情况下,根据当地国民经济的发展速度,确定相应的地下水开采量。分 4 个不

同开采水平,即以1993年为基础,开采量线性增长0.5%,10%,15%。地下水动态预测结果见表6。

表5 1994~2010年降水量预测值

年份	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
降水量/mm	1174.8	1071.7	438.6	953.0	665.0	531.4	422.3	585.5	953.3
年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
降水量/mm	878.7	304.8	627.5	844.2	441.1	745.9	492.4	544.9	

表6 不同开采水平下地下水埋深预测值

m

开采量 年增幅	常规灌溉				节水灌溉			
	1995	2000	2005	2010	1995	2000	2005	2010
0	26.4	35.0	44.5	54.2	24.1	27.2	31.0	34.9
5%	26.9	39.6	57.4	79.0	24.6	31.6	43.7	60.1
10%	27.4	44.1	70.1	104.2	25.1	36.2	56.6	85.0
15%	27.9	48.7	82.8	129.6	25.6	40.8	69.4	110.1

3.4.2 节水灌溉

经测算,西郊农场节水示范区采取的节水措施推广后,每年可减少灌溉水量462.9万 m^3 ,相当于每年少开采462.9万 m^3 地下水。根据前述地下水动态预测模型,可计算出节水后地下水的动态情况(表6)。

4 结论与建议

1)调节计算得到,1993年浅层地下水埋深达23.1m,与实际观测井资料基本一致。

2)地下水的可开采量,丰水年为607.3万 m^3 ,平水年为503.0万 m^3 ,偏枯水年为413.2万 m^3 。目前每年都要超采1000万 m^3 ,这是本地区地下水水位持续下降的主要原因。

3)地下水动态预测结果表明,当地下水开采量保持1993年的开采水平时,2010年地下水水位埋深将达到54.2m;当地下水开采量每年按1993年开采量的5%线性增长时,2010年地下水水位埋深将达79.0m;按10%线性增长时,2010年地下水水位埋深将达到104.2m;按15%线性增长时,将达到129.6m。采取节水措施后,能较大幅度延缓地下水水位的下降速度,到2000年可减少下降7.8m,到2010年可减少下降19.2m。

建议进一步加强北京及周边地区的地下水研究,制定地下水水位持续下降,以及地下水水位下降后的对策;大力推广节水灌溉农业,以减缓地下水水位的下降。

参 考 文 献

- 1 长江流域规划办公室水文处. 水利工程实用水文水利计算. 北京:水利出版社,1980. 205~209
- 2 陈葆仁,洪再吉,汪福忻. 地下水动态及预测. 北京:科学出版社,1988. 249~255