

# 水分不足地区降水资源供需平衡模式\*

张家诚

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

在自然界与人类系统水分平衡概念的基础上,提出了作降水评价的供需平衡模式.该模式对全面发挥由降水所形成的各种主要水资源成分的潜力是有用的.用此模式作了个例试验,并提出在水分不足地区缓解水分欠缺的途径.

**关键词:**降水;水资源;气候评价.

## 1 引 言

虽然水分问题(水资源、旱、涝等)受到广泛的注意,但至今尚没有科学界的共同理解与评价方法<sup>[1]</sup>.

本文试图用数学模式来表达水分的供需关系.但一切气候评价模式(包括降水评价在内)都涉及众多的自然因子与社会因子,建立适用的数学模式难度很大.

本文认为,降水资源的评价模式可以从供需平衡的观点建立.因为从天空降到陆面的水是有定量的,人类社会所需要的水也是定量的,其中存在一定的收、支关系,这是可以计算的.

早在50年代,前苏联科学家布迪科就开始计算自然界水分平衡关系<sup>[2]</sup>,但未包括社会因素在内.本文作者于1988年提出了自然界与人类社会系统水分平衡的概念模式<sup>[3]</sup>.本文试图在此基础上求出其数值关系.

应当指出,本文仍只限于最简单的情况.所讨论的范围是水分不足地区的水分平衡模式.所谓水分不足地区,即干燥度(可能蒸发量与降水量之比)大于1,而水分不足已限制了社会经济发展的那些地区.在这种地区,从总体上说,水多为患的情况不多,因而降水量都可作为资源考虑.

1993年3月18日收到,1993年6月18日收到修改稿.

\* 国家自然科学基金资助项目.

## 2 基本原理与模式

自然界与人类社会水分平衡系统,由三个子系统组成<sup>[3]</sup>,它们的功能如下:

(1) 天然降水子系统,是大陆唯一的水分输入,为整个系统的限制因子.天然降水脉冲性很强,不能满足生态系统与人类社会连续性水分需要.

(2) 地下与地表子系统,其功能为水资源的形式与分类,供给生态系统与人类所需水分.

(3) 人类用水排水子系统,为整个系统的定标因子,同时又能将废水加工为水资源,具有水资源的再生能力.

通过三个子系统相互作用,人类社会的水分收入与支出情况如下:

(1) 收入

在地表与地下作用下,形成下列四种水资源:

第一水资源,即径流与地下水,为水文统计中的水资源.此种水资源可以搜集、调运和分配使用,故为使用价值最高的水资源.

第二水资源,即土壤水,在水分不足地区其数量超过第一水资源,为野生生态系统与雨养农业的唯一水源,但不能调作它用.

第三水资源,即蒸发,可通过人工抑制使之转变为水资源.但抑制蒸发所获得水分仍留在土壤或水体内,同前两种水资源难以区分,故在计算中暂不考虑.

第四水资源,即地区之间的径流交换,流入为收入,流出为支出.

另外废水利用是再生水资源( $W'$ ),水库有调节水分的作用( $\Delta W$ ),调出为正值,调入为负值.

设以上四种水资源在降水量  $R$  中所占比重分别为  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ , 加上  $W'$  与  $\Delta W$ , 则水分收入总量应为:

$$W = R(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) + W' + \Delta W.$$

(2) 支出.

社会需水量为水分支出.因工业需水量( $A_1$ ),农业需水量( $A_2$ )与生活需水量( $A_3$ )的性质不同,故需分开计算.因此,水分平衡公式为:

$$R(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) + \Delta W + W' \geq A_1 + A_2 + A_3 \quad (1)$$

在各种水资源中,蒸发部分( $R\alpha_3$ )暂不计算,土壤水( $R\alpha_2$ )又只能供给农业需要,不能调作它用.故可以由人类搜集、贮运、调度的水资源(即水文部门日常统计分析的水资源)部分

$$W_1 = R(\alpha_1 + \alpha_4) + W' + \Delta W$$

需单独进行考虑,建立以  $W_1$  为基础的水分平衡公式,就可以为水资源调度提出更具体的参考.

为此,只要从式(1)中扣除  $R\alpha_2$ (土壤水)所提供的生产力就够了.设某区域对农产品的需要量为  $F$ ,  $F_2$  是土壤水提供的农产品,  $F_1$  是  $W_1$  提供的农产品,故

$$F = F_1 + F_2$$

设  $U_{22}$  为单位土壤水(t)所能生产的农产品(kg),  $U_{21}$  是单位  $W_1$  所生产的农产品.故生产

$F_2$  实际所需的水分为

$$R\alpha_2 = F_2 U_{22}$$

如果  $F_2$  不够满足当地农业之需, 增产量  $F_1$  就靠灌溉( $W_1$ ) 才能得到. 这部分的数量应当为:

$$(F - F_2)U_{21} = (F - R\alpha_2/U_{22})U_{21}$$

故式(1)可以写成

$$W_1 \geq A_1 + A_3 + (F - R\alpha_2/U_{22})U_{21} \quad (2)$$

式(2)中的参数来自不同部门, 规格、时间、区域, 很难找到可以配套的全部资料. 北京市1980年与1984年资料较全<sup>[4,5]</sup>, 可以给式(2)作个验证(表1). 结果表明, 这两年虽然干旱, 但由于水库存水调剂和用水效率提高, 全市水分收支是接近平衡的, 两年供需之差

表1 1980、1984年北京市水分平衡(10<sup>4</sup>t)

水分平衡	供水			需水	
	1980年	1984年		1980年	1984年
$R\alpha_1$	17.31	21.61	$A_1$	8.49	5.64
$R\alpha_4$	10.53	7.55	$A_2$	26.12	22.15
$\Delta W$	12.2	3.28	$A_3$	4.26	6.27
$W'$	0.69	0.67			
总和	40.73	33.11	总和	38.87	34.06

注: 本文部分资料由水利部水电科学院水资源研究所陈韶君同志提供.

仅为1.89亿t(1980年)和-0.95亿t(1984年), 可忽略不计. 式(2)中所有参数都是变量. 其中各种水资源分量在多年期间趋向一个准平均值. 虽然人们的用水量在不断上升, 但用水效率(包括节水技术等)也在不断提高, 故在一定量水资源条件下, 式(2)的平衡关系是可以保持的. 式(2)还可用于判断水分丰枯, 或推出旱涝的客观标准<sup>[6]</sup>. 同时, 该式也可作为动态监测水分供需平衡的工具, 提供采取对策时的参考.

### 3 土壤水问题

表1所示的数字均为第一大类水资源的供需平衡关系, 并未反映式(2)右端末项(即土壤水)在水分平衡中的贡献. 但北京市的农产品中肯定包含了土壤水的贡献. 表2的数据给人以假象, 似乎表中的“农业用水”量就是生产所有农产品的全部水量. 为得出水分平衡的真实面貌, 需要估计土壤水对农业生产的贡献. 雨养农业就是土壤水对农业生产所作贡献的证据, 只有全部农产品与雨养农产品之差, 才应由第一大类水资源(即灌溉)来提供. 这就可求出式(2)右端末项.

由于土壤湿度观测问题尚未很好解决, 土壤水的估计是很困难的. 本文采用裴步祥与毛飞搜集到的北京市密云站的土壤湿度和他们计算的100cm土层的土壤水资料(1980—1989年), 其多年平均值约256.5mm水深. 由于作物耕层深度可超过100cm, 故可利用的土壤水多于此值. 初步假设在300mm水深左右, 相当于3000t/hm<sup>2</sup>水. 如果每吨水能提供1kg农产品, 则土壤水可提供3t/hm<sup>2</sup>农产品. 这一结果正好同水利部在华北5个站进行4年冬小麦灌溉试验(1983—1986年)中的不灌溉地块(即农作物全靠土壤水)的平均

产量  $2.91\text{t}/\text{hm}^2$ \* 十分接近. 这就说明, 只有农产品产量超过  $3\text{t}/\text{hm}^2$  时, 才需要灌溉水补充.

以 1984 年为代表的 80 年代华北地区各省市的粮食生产水平如表 2 所示<sup>[5]</sup>. 可以看出, 除北京外, 其它各省市基本上只在雨养农业的水平. 故在这三个省市即使无灌溉, 也可在利用土壤水的基础上达到现有生产水平.

北京市现在每公顷生产粮食  $4.155\text{t}$ , 而土壤水只能为每公顷提供粮食  $3\text{t}$ . 这就是说, 有  $1.155\text{t}$  粮食需要灌溉水(即  $W_1$ )来补充生产. 这样, 每公顷灌溉用水平均只要  $1200\text{t}$  也就够了. 如果按照当前雨养农业最先进的水平, 产量可达  $7\text{t}/\text{hm}^2$  以上, 而一般先进水平可达  $4\text{t}/\text{hm}^2$  以上, 则北京市的现有生产水平也是可以由雨养农业来解决, 而不需要灌溉.

当然, 以上只是理论计算结果, 同实际情况尚会有很大出入. 但以上模式所得结果对考虑华北农业发展的战略方向, 是有意义的.

表 2 1984 年华北四省市粮食生产情况

地区	播种面积 ( $10^4\text{hm}^2$ )	灌溉面积 ( $10^4\text{hm}^2$ )	粮食播种面积 ( $10^4\text{hm}^2$ )	粮食产量 ( $10^4\text{t}$ )	粮食单产 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )
北京	63.3	34.3	52.3	212.5	4155
天津	62.3	36.5	48.7	131.5	2700
河北	870.8	358.5	665.6	1870.0	2813
山西	416.5	110.3	332.8	872.0	2618

## 4 讨 论

本文所提模式只能认为是一个尝试. 其中有的问题尚待气象学的发展. 如蒸发与土壤水的问题更需农业气象学的发展. 特别是土壤水是处于动态平衡过程, 用土壤平均湿度所计算的, 只是平均状态, 不足以反映土壤水的全貌. 但在当前, 即使是平均状态的资料也不易得到, 故动态平衡更难计算. 另外, 模式所需资料来自各学科, 缺乏统一规格, 难以选到实例.

这个模式比较全面与明确地表现了各种水资源之间的定量关系. 由于水资源尚无公认的概念<sup>[1]</sup>, 虽然人们知道土壤水的重要性, 但作为水资源的统计资料却又不包括土壤水在内, 这就难免引起概念混乱和片面理解水资源. 这种情况对水分不足地区尤为严重. 这个模式在客观上为更全面评价降水资源作了有益的尝试.

模式中三种需水量并列, 有利于估计三者的合理分配问题. 特别是分解了用水大户—农业的用水构成, 有利于发挥各种水资源的效益.

供需水之间的平衡分析, 为得出水分盈亏与探讨旱涝标准提供了理论基础. 目前这一问题还主要由个别行业分别进行, 模式分析了社会总体的水分问题, 因而对于社会经济的总体布局与全面规划服务有直接的效果.

\* 根据水利电力部 38—1—13 课题组报告.

## 参 考 文 献

- 1 水科学进展编辑部. (笔谈). 水资源的定义和内涵. 水科学进展, 1991, 2(3): 206—215.
- 2 Алисов Б. П. и др. Курс климатологии, Гидрометеоздат, 1952. 75—83.
- 3 张家诚. 水分平衡与降水评价. 地理研究, 1988, (7): 27—33.
- 4 国家统计局编. 中国统计年鉴(1981年). 北京: 中国统计出版社, 1982. 90—157.
- 5 何康等编. 中国农业年鉴. 北京: 农业出版社, 1985. 119, 144—146.
- 6 张家诚. 降水与社会经济关系指标的初探. 水科学进展, 1992, 3(1): 25—30.

## AN EQUILIBRIUM MODEL FOR PRECIPITATION RESOURCES ASSESSMENT IN WATER DEFICIT AREA

Zhang Jiacheng

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

### Abstract

Based on the concept of water balance in Nature-Man System, an equilibrium model for precipitation resources assessment is proposed. The model is possible to be used as an effective tool for tapping the potentiality of all the main components of water resources formed from precipitation. The article succeeded to give example for its validation and suggested the mitigating approaches for solving the problem of water shortage in the deficient precipitation regions.

**Key words:** Precipitation; Water resource; Climate assessment.