

雨水集蓄设施经济容积的确定方法^{*}

牛文全

(西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 将不同时段雨水的集蓄和利用同步考虑, 根据水量平衡原理, 计算各时段的水量盈缺状况, 进行调蓄计算, 确定了人畜饮水工程和农田补灌工程中雨水集蓄设施经济容积的计算方法, 并对该方法进行了实例演示。

[关键词] 雨水集蓄设施; 水窖; 经济容积; 人畜饮水工程; 农田补灌工程

[中图分类号] S275.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)08-0125-05

干旱与水土流失并存是我国半干旱地区的主要特点之一, 短缺的水资源严重制约着经济的发展和生态恢复重建。但该区域雨水资源相对丰富, 其显著特点是降水在时间上的分布极不均匀, 主要集中在7~10月, 而且大部分以暴雨的形式出现。因此, 合理开发利用雨水资源, 用来解决人畜饮水和作物补充灌溉问题已经得到充分的肯定和发展。

截止2000年, 仅在我国的甘肃、陕西等地已经建成230万眼水窖, 其蓄水容积近1亿 m^3 ^[1]。但作者2001年调查发现, 雨水利用工程的部分水窖蓄满率非常低, 即闲置容积非常高, 甚至有相当部分水窖常年干涸。这是因为水窖的规划设计、容积和布局不合理, 也表明现行雨水集蓄设施容积的确定方法还存在一定的不合理性。

Domínguez等^[2]提出了存贮城市雨水资源, 降低水窖造价的设计思路, 但未给出具体方法, 也未与具体利用相结合。我国行业标准规范只提出了水窖的建议容积和修建方法^[3], 张新燕等^[4]用水量平衡原理提出了计算经济容积的思路和方法。这些方法大部分只考虑了年降水量, 而没有考虑降水的年内分布, 或者没有考虑雨水利用的年内分布, 因此计算结果容易造成雨水存贮设施投资高及资源浪费的现象, 无法充分合理地利用雨水资源。为此, 本研究提出了计算经济容积的方法, 以期对半干旱地区合理设计、建造集雨设施, 充分利用雨水资源提供参考。

1 集雨设施设计的基本思想

1.1 设计思想

雨水集蓄设施容积过大, 虽然能够保证充分拦蓄降水, 但易造成投资过大及设施大部分闲置和利

用率低下问题。如果设施容积过小, 虽然建造投资小, 但无法保证充分拦蓄降水, 用水需求得不到充分保证。

雨水集蓄过程, 也就是雨水利用过程, 即雨水的集蓄与利用同步进行。过去设计水窖时这两个过程被人为隔离, 计算集蓄的时候, 没有考虑到利用, 因此设计的水窖体积往往过大^[3]。在一个水文年不同的时段, 集蓄量和利用量总是不一致的, 当集蓄量大于利用量时, 就需要将剩余的雨水量存贮以供下一时段利用; 当集蓄量小于利用量时, 就需要以前一时段集蓄的雨水量为补充, 这是本文设计水窖容积的基本思路。也就是根据水量平衡原理, 在一个水文年内进行推算, 求解既能充分满足蓄水要求, 又能保证用水要求的最小容积, 即经济容积。其具体实现方法如下:

$$Q = W, \quad (1)$$

$$Q = p(t), \quad (2)$$

$$W = w(t), \quad (3)$$

$$v(0) = p(0) \cdot A, \quad (4)$$

$$v(t) = v(t-1) + p(t) \cdot A - w(t+1), \quad (5)$$

$$V = \max[v(t)]. \quad (6)$$

式中, Q 为年总雨水集蓄量(m^3); W 为年总需水量(m^3); V 为水窖经济容积(m^3); p 为时段 t 内的降水量(mm); A 为雨水集流面积(m^2); w 为时段 t 内的需水量(m^3); v 为第 t 时段的存贮水量(m^3); t 为降雨时段。

1.2 实现步骤

在具体工程设计和计算过程中, 调查确定研究区域的单位时段的需水量 $w(t)$, 确定总需水量

^{*} [收稿日期] 2004-01-08

[基金项目] 国家863节水重大专项“新型高效雨水集蓄与利用技术研究”(2002AA2Z4051)

[作者简介] 牛文全(1972-), 男, 甘肃甘谷人, 助理研究员, 在职博士, 主要从事雨水利用及节水灌溉技术与设备研究。

W ；收集当地的降水资料和产流汇集资料，确定不同集流方式下的集流系数；确定满足用水要求的集流面积；以研究区域多年平均最大降水月为开始月，用公式(1)~(6)进行水量平衡计算，确定经济容积。

2 不同雨水利用类型的计算实例

2.1 人畜饮水工程的经济蓄水容积

人畜饮水工程的水容最小容积为满足人畜一定时段内耗水量的最小值，可依据当地年内降水分布状况、人畜日需水状况及其年内变化状况来确定，具体公式为

$$W = (rk \times rs + sx \times ss) \times n, \quad (7)$$

式中， W 为年人畜总需水量(m^3)； rk 为人口数量； sx

为标准牲畜数量； rs 为人日需水量(m^3)； ss 为标准牲畜日需水量(m^3)； n 为 1 年的天数，一般为 365。

集流面积由多年平均降水量和集流效率确定，其计算公式为

$$S = \frac{W}{P \cdot q} \times 1\,000, \quad (8)$$

式中， P 为多年平均降水量(mm)； S 为集流面积(m^2)； q 为集流效率(%)，一般由不同区域所采用的集流技术措施和材料确定，对于硬地面 $q=0.4$ ，水泥地面 $q=0.7^{[5,6]}$ 。

[例] 陕西泾阳县多年平均年降水量 $P=508.2\text{ mm}$ ，户均庭院集流面积 $S=200\text{ m}^2$ ，绝大多数为硬地面，集流效率 $q=0.4$ 。计算资料见表 1。

表 1 陕西泾阳县多年月均降水量、需水量、集流量、需水盈缺及存贮水量统计

Table 1 Monthly precipitation, requiring water amount, amount of rainwater, the state of requiring and lack, memory water of Jingyang county, Shaanxi in many years

月份 Month	月均降水量/mm Average precipitation per month	月均需水量/ m^3 Water needed per month	月均集流量/ m^3 Rainwater collected per month	月均需水量盈缺/ m^3 Water surplus and deficiency per month	存贮水量/ m^3 Water storage
7	81.0	3.41	6.48	3.07	6.50
8	76.9	3.41	6.15	2.74	7.30
9	74.9	3.30	5.99	2.69	10.00
10	58.7	3.41	4.69	1.28	11.50
11	20.7	3.30	1.66	-1.64	9.60
12	5.3	3.41	0.42	-2.99	6.70
1	5.2	3.41	0.41	-3.00	3.70
2	7.5	3.08	0.60	-2.48	0.90
3	22.1	3.41	1.77	-1.64	2.00
4	41.6	3.30	3.33	0.03	3.50
5	54.5	3.41	4.36	0.95	4.50
6	59.8	3.30	4.79	1.48	6.00
全年 Total of the year	508.20	40.15	40.65	0.50	/

注：表中负值表示当月缺水。下表同。

Note: The mark “-” shows that water amount is lack in this month. It is the same in the following table.

按户均 5 口人、2 头标准牲畜计算，参照文献[7]标准，人均需水量 $0.01\text{ m}^3/\text{d}$ ，标准牲畜平均需水量 $0.03\text{ m}^3/\text{d}$ ，则由式(7)计算出表 1 中的月均需水量，其中式(7)中的变量 n 为各月的天数。

月均集流量由下式计算：

$$v = qPS/1\,000, \quad (9)$$

集流效率 q 按硬地面 0.4 计算，集流面积按 200 m^2 计算。

月均需水盈缺状况是月均集流量与月均需水量之差，其结果见表 1。由表 1 可见，除 11~3 月干旱少雨，需水量不足外，4~10 月集水量均有盈余，且

以 7 月份降水量最大，故以 7 月作为初始月进行计算，即 $v(0)=6.48\text{ m}^3$ ，然后应用式(5)推算其他各月的存贮水量，结果列于表 1。

由表 1 可见，需要存贮的最大水量为 10 月，存贮水量为 11.5 m^3 。根据式(6)可以计算出该县平均每户人畜用水水窖经济容积为 15.5 m^3 ，即可满足 1 年的生活用水。

由表 1 还可以看出，按照多年月均降水量计算，每年从 4 月开始，当月雨水量出现赢余。因此，下面就按 15.5 m^3 对陕西泾阳县户均用水保证情况进行校核计算，其结果见表 2。

表 2 水窖容积校核

Table 2 Volume checkup at water tank

月份 Month	月用水量/ m^3 U sing amount per month	月集流量/ m^3 Collected amount per month	盈缺状况/ m^3 Surp lus and deficiency	窖中蓄水量/ m^3 W ater amount in tank	用水保证率/% W ater guaranty rate	闲置容积/ m^3 U nused volum e
4	3 3	3 33	0 03	3 33	100	12 17
5	3 41	4 36	0 95	4 39	100	11 11
6	3 3	4 79	1 49	5 77	100	9 73
7	3 41	6 48	3 07	8 95	100	6 55
8	3 41	6 15	2 74	11 69	100	3 81
9	3 3	5 99	2 69	14 27	100	1 23
10	3 41	4 69	1 28	15 5	100	0
11	3 3	1 66	- 1 64	13 75	100	1 75
12	3 41	0 42	- 2 99	10 87	100	4 63
1	3 41	0 41	- 3	7 87	100	7 63
2	3 08	0 6	- 2 48	5 06	100	10 44
3	3 41	1 77	- 1 64	3 75	100	11 75

由表 2 可见, 在平均干旱年份, 15.5 m^3 水窖完全能够满足陕西泾阳 5 口人、2 头标准牲畜的饮水需求。根据表 2 可以计算出该设施的复蓄次数为 $2.7^{[4]}$, 远高于设计标准(1.5~ 2.0), 复蓄次数越高, 说明水窖的利用率越高。

干旱区兴修雨水集流存贮工程, 不但要保证一般干旱年份的用水需求, 还要最大可能地满足特别干旱年份的用水需求。在特别干旱年的降水(表 3)情况下, 需水保证情况计算如下: 特别干旱年人畜用水定额, 人为 $0.006\text{ m}^3/\text{d}$, 标准牲畜 $0.02\text{ m}^3/\text{d}^{[7]}$ 。由式(7)计算出年需水量为 25.55 m^3 , 并由式(8)计算出需要的集流面积为 266 m^2 , 因此在特别干旱年份, 现有的庭院集流面积无法满足人畜用水需要, 每户必须利用其他集流面或新建集流面, 根据当地的情况, 必须新修 66 m^2 的硬地集流面或者利用其他场所做为补充集流面。下面按照 266 m^2 的集流面对水窖进行验算, 结果见表 4。

表 3 特别干旱年(1983 年)降水资料

Table 3 Monthly precipitation in arid year (1983) of Jingyang, Shaanxi mm

月份 Month	降水量 Precipitation	月份 Month	降水量 Precipitation	月份 Month	降水量 Precipitation
1	8 3	5	11 4	9	60 2
2	21 5	6	5	10	3 5
3	10 2	7	51 3	11	26 8
4	34 3	8	7 2	12	0

表 4 特别干旱年水窖容积校核

Table 4 Volume checkup at water tank in arid year

月份 Month	月用水量/ m^3 U sed amount per month	月集流量/ m^3 Collected amount per month	盈缺状况/ m^3 Surp lus and deficiency	闲置容积/ m^3 U nused volum e	用水保证率/% W ater guaranty rate
4	2 1	3 65	1 55	3 65	100
5	2 17	1 21	- 0 96	2 76	100
6	2 1	0 53	- 1 57	1 12	100
7	2 17	5 46	3 29	4 48	100
8	2 17	0 77	- 1 4	3 08	100
9	2 1	6 4	4 3	7 31	100
10	2 17	0 37	- 1 8	5 58	100
11	2 1	2 85	0 75	6 26	100
12	2 17	0	- 2 17	4 16	100
1	2 17	0 88	- 1 29	2 87	100
2	1 96	2 29	0 33	2 99	100
3	2 17	1 09	- 1 08	2 12	100

由表 4 可见,干旱年水窖的利用率很低,最大为 9 月只用了 7.31 m^3 ,但用水保证率均为 100%。

2.2 作物补灌工程的经济蓄水容积

首先,分析研究干旱区作物种类、作物各个生育期需水量指标、农业耕作栽培综合配套技术及作物与结构布局等,确定主要作物单位面积不同生育期的用水量。然后,根据当地的降水状况,在水平梯田利用保水化控技术和覆盖技术,及在坡地利用等高耕作等保土蓄水技术、化控技术和覆盖技术条件下,

充分提高雨水的利用率,计算雨水的就地利用量。最后,根据雨水就地利用量和作物各生育期的需水量确定需要补灌的水量,再结合多年平均降水量和集流效率确定适宜的集流面积。

[例] 采用陕西泾阳县降雨资料,以玉米作为补充灌溉作物,分析其各生育期的需水量,并结合当地的降水量、集流效率确定玉米的耗水及缺水情况,用类似人畜用水工程的方法,确定需要修建玉米生长的补灌集流面积和水窖容积,具体资料^[8]见表 5。

表 5 陕西泾阳县玉米各月日需水量、月需水量、降水量及缺水量

Table 5 Water of requiring amount,monthly amount of requiring water,precipitation, water lacking amount of Jingyang Shaanxi for corn

生育期 Bearing stage	日需水量/mm Daily water dem and	月需水量/mm Monthly water dem and	降水量/mm Precipitation	缺水量/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) Deficiency amount
6	2 12	63 6	59 8	38
7	3 50	108 5	81 0	275
8	3 77	116 9	76 9	400
9	3 55	106 5	74 9	316
全生育期 All bearing stage	-	-	292 6	1 029

由表 5 可见,该县玉米的整个生育期均处于缺水状态,如果在没有其他水源灌溉,只利用雨水作为补充灌溉水源条件下,为了保证该县玉米的正常生长,玉米整个生育期需要集蓄雨水量为 $1\,029\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。利用式(8),根据不同材料和集流方式的集流效率可以计算出需要满足集蓄上述雨水量的最小集流面积。农作物补充灌溉雨水的集流面一般为混凝土地面,其集流效率为 0.7^[5],利用式(8)计算集流面积:

$$S = \frac{W}{qP} \times 1\,000 = \frac{1\,029 \times 1\,000}{0.7 \times 580.2} = 2\,534\text{ m}^2$$

为了保证玉米的灌溉和生长,按安全系数 1.2 计算,则需要 $3\,000\text{ m}^2$ 道路或需要新建 $3\,000\text{ m}^2$ 的混凝土面作为集流面。

根据集流面积计算出各月的集流雨水量,结合表 5,利用公式(5)推算各月需要存贮的最小水量,最后确定水窖容积,结果见表 6。

表 6 玉米需水状况

Table 6 Water demand for corn

月份 Month	月用水量/ m^3 Monthly water dem and	月集流量/ m^3 Collected amount per month	盈缺状况/ m^3 Surplus and deficiency	累计蓄水量/ m^3 Cumulative storage	保证率/% Guaranty rate
10	0	123.2	-	123.2	-
11	0	43.5	-	166.8	-
12	0	11.1	-	177.8	-
1	0	10.9	-	188.7	-
2	0	15.7	-	204.4	-
3	0	46.5	-	250.9	-
4	0	87.3	-	338.2	-
5	0	114.4	-	452.6	-
6	38	125.6	87.6	540.2	100
7	275	170.2	- 104.8	435.4	100
8	400	161.6	- 238.4	197.0	100
9	316	157.2	- 158.8	38.2	100

注:“-”表示非玉米生育期。

Note: The sign “-” shows that this month is not bearing stage

由表 6 可见,在玉米的整个生育期只有 6 月不缺水,其他生育期全部处于缺水状态。从上年的 10

月开始蓄水,到翌年 6 月达到最大蓄水量,为 540.2 m^3 。即为保证单位面积玉米的正常生长,在充分灌

溉条件下, 需要修建适宜的水窖容积为 $540\ 2\text{ m}^3$ 。该设施的复蓄次数为 1.9。对于其他作物则按照该作物不同生育期的需水量和降水量, 应用类似的方法可以计算出补灌单位面积作物需要修建的水窖容积和集流面面积, 如果考虑轮作, 则以几种作物的总需水量作为计算依据, 如果间作套种, 则以作物最大需水量作为计算依据。

3 小 结

雨水利用是地表径流调控利用的一个主要方面, 其对雨水资源在时间上的调控达到经济、合理利用是非常重要的一个方面, 在时间上的调控主要依靠存贮设施来实现。本研究根据水量平衡原理, 提出了计算设计经济容积的方法和计算公式, 并对陕西泾阳县的人畜饮水工程和玉米补灌工程分别进行了实例验算。

该方法在人畜饮水工程计算方面, 主要依据当

地平水年的人畜用水定额和固定集流场所的面积计算不同时段供需状况, 可以确定经济水窖容积, 方法简单可靠, 但应用时必须以当地的人畜用水定额为标准。

对农作物补灌工程, 主要依据作物种类、种植模式以及各生育期的需水量、降水量确定所需集流面积, 再计算各生育期的供需状况, 最后确定经济水窖容积。

通过对实例结果验算, 经济水窖容积可以满足不同降水频率条件下的用水需求, 各时段保证率为 100%, 水窖的复蓄次数分别为 2.7 和 1.9, 水窖的利用率高。

上述方法计算的水窖容积为总蓄水容积, 没有考虑水窖的数目和布局, 在实际设计中必须结合集流面的位置, 合理安排水窖数目和布局, 以达到利用方便、效率高的目的。

[参考文献]

- [1] 贾德志, 张欣哲, 周廷庆, 等. 立足雨水资源 造福干旱山区[J]. 甘肃水利水电技术, 2001, (增刊): 1- 8
- [2] Dominguez M A C, Eric Schiller, Nikolai S S. Sizing of rainwater storage tanks in urban zones[Z]. Mannheim, Germany: 10th international conference on rainwater catchments systems, 2001.
- [3] 中华人民共和国水利部. 雨水集蓄利用工程技术规范[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [4] 张新燕, 蔡焕杰, 王 健. 降雨聚集条件下蓄水工程优化设计研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(4): 84- 86
- [5] 吴普特, 黄占斌, 高建恩. 人工汇集雨水利用技术研究[M]. 郑州: 黄河出版社, 2002.
- [6] 甘肃省水利厅. 甘肃省雨水集蓄利用工程技术标准[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1997.
- [7] 史 文. 旱地农业实施雨水集流工程设计问题探讨[J]. 甘肃水利水电技术, 2001, (增刊): 208- 211.
- [8] 陕西省水利水土保持厅, 西北农业大学. 陕西省作物需水量及分区灌溉模式[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.

Calculation method for economical capacity of rainwater catchment container

NIU Wen-quan

(Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The rainwater amount of requiring and collection is considered at the same time. According to the water balance principle, using excess and deficit water status in the different period, economical capacity of rainwater tank is calculated on the person-livestock drinking water engineering and farmland supplementary irrigation engineering respectively. The example about this method is given.

Key words: rainwater catchment system; rainwater tank; economical capacity; the person-livestock drinking water engineering; farmland supplementary irrigation engineering