

# 豫西山丘区雨水资源开发利用模式与关键技术

双 瑞<sup>1</sup>, 相小霞<sup>2</sup>, 双书东<sup>3</sup>

(1. 河南省水土保持科学研究所, 郑州 450008;  
2. 河南省郑州水利学校, 郑州 450008; 3. 郑州市尖岗水库管理处, 郑州 450052)

**摘 要:** 雨水资源开发利用中, 修建大型骨干水利工程受地形、地貌、水文、地质等因素影响较大, 工程造价高, 解决问题有限; 而雨水集蓄工程, 分布广泛, 开发利用成本低, 技术相对简单, 管理维护方便, 并且, 可以通过对雨水的直接调控, 减少降雨所产生的地表径流, 消除水土流失原动力, 减轻水土流失危害。通过对豫西四县典型小流域内雨水资源开发利用技术综合研究分析, 探讨了山丘区不同部位(坡面、沟道等)蓄水工程开发利用模式及关键技术, 供同类型区参考, 推广应用。

**关键词:** 豫西山丘区; 雨水资源; 开发利用

中图分类号: S273.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0130-03

## Exploiting and Utilization Models and Key Techniques of Rainwater Resources in Mountain and Hill Area in Western Henan Province

SHUANG Rui<sup>1</sup>, XIANG Xiao-xia<sup>2</sup>, SHUANG Shu-dong<sup>3</sup>

(1. Henan Science and Research Institute of Soil and Water Conservation, Zhengzhou 450008;

2. Zhengzhou Water Resource School of Henan Province, Zhengzhou 450008;

3. Administration Office of Jiangan Reservoir in Zhengzhou City, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** In exploiting and utilization of rainwater resources, the large key water conservancy works would be built at high cost, solving issues with limitation because of great influences by topography, landforms, hydrology and geology. But distributed widely, the rainwater gathering and storage works will be built at low exploiting cost, with relatively simple construction technique, and in convenience for management and maintenance. Through the direct regulation and control to rainwater, it can also reduce runoffs produced by rain, weaken the impetus of soil erosion, abate the harm of soil losses. Through comprehensive analysis on the exploiting and utilization techniques of rainwater for typical small watershed in four counties western Henan Province, the exploiting and utilization models and key techniques of rainwater gathering and storage works on different positions of hills (slope, gully etc.) were probed.

**Key words:** mountain and hill area in western Henan Province; rainwater resources; exploiting and utilization

### 1 山坡降水资源水土保持开发利用模式与关键技术

一般而言, 山坡相对于沟道, 纵坡比降大得多, 因而降雨产生的径流流速较高, 降雨停止后坡面上的滞留水较少, 降雨入渗量有限, 所以山坡降水资源的天然利用率极低, 要提高其利用率, 就必须从改变山坡坡长和水流动态方面寻找途径。根据研究试验, 山坡降水资源的水土保持开发利用模式可总结为雨水就地拦蓄入渗、雨水叠加利用和雨水资源异地利用 3 种。

#### 1.1 雨水就地拦蓄入渗利用模式

雨水就地拦蓄入渗利用模式, 是通过在地表微地形的改变来增加地表土壤的入渗能力, 使入渗到土壤中的水分最大限度地渗入并保存下来, 从而提高坡面降水资源的利用率。据高县水保所 1990~1993 年对同一坡面上相同土质条件下(红黄土)的坡耕地与水平梯田的产流频率观测资料推算, 水

平梯田的产流频率仅为坡耕地的 27%, 当一次降水 91.4 mm 时, 梯田产出的径流量为 58.74 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 坡耕地则高达 477.69 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 梯田的产流系数为 0.06, 坡耕地高达 0.53。汝阳县水保站 2003 年 8 月 29 日~9 月 7 日一次降水 186.1 mm, 对浑椿河流域内中性岩始成褐土的自然坡面与梯田产流情况的对比性观测: 梯田区在降雨量达到 62 mm 时产生径流, 面蚀均深 1 mm; 30° 自然坡面上, 降雨量 25 mm 时开始产生径流, 面蚀均深 4.5 mm。梯田与 30° 自然坡面土壤侵蚀量分别为 10.05 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 和 45 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 这说明修筑水平梯田改变山坡微地形, 对雨水资源就地拦蓄利用极为有利。

梯田设计的关键技术是确定“最优断面”, “最优断面”的关键数据是田面宽度。单位梯田长度挖方工程量  $V$  (如半挖半填) 可由下式求出。

$$V = \frac{1}{8} B^2 (\cot \alpha - \cot \beta)$$

\* 收稿日期: 2005-06-27

作者简介: 双瑞(1962-), 女, 河南省水土保持科学研究所高级工程师, 主要从事水土保持科研, 开发建设项目水土保持方案编制, 水土保持前期工作编制等工作。

式中:  $B$ ——梯田田面宽度;  $\alpha$ ——原地面坡度;  $\beta$ ——梯田埂侧坡坡度。

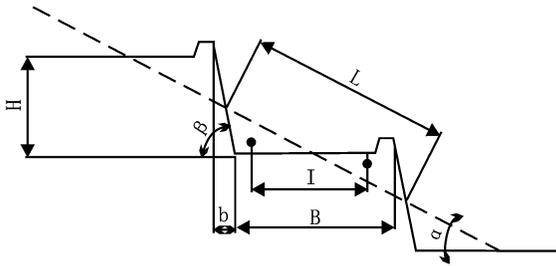


图 1 水平梯田断面图

由上式可知, 当自然坡面坡度已知, 梯田埂坡已定时, 梯田的挖方工程量  $V$  随田面宽度二次方的变化而变化。即在梯田断面的各要素中, 田面宽度是其主要因素。

### 1.2 雨水叠加利用模式

雨水叠加利用模式是雨水就地拦蓄入渗利用模式的深入和发展, 是在改变微地形就地拦蓄利用雨水的基础上, 并将附近地表雨水汇集其上, 加以利用的一种叠加利用方式。如新密、陕县等地修筑的隔坡梯田。梯田田面部分可就地蓄集雨水, 同时水平梯田上部坡面的雨水也汇集到梯田田面供作物利用, 这种类型的坡面集水措施与雨水就地拦蓄入渗模式有所不同。

雨水就地拦蓄入渗利用模式, 其田面在雨季所得到的水量  $W_s$ :

$$W_s = P + P_c$$

式中:  $P$ ——弱至中等强度, 在坡地上不会产生再分配的降水;  $P_c$ ——强度较大, 在岗峦起伏的地方能够形成径流的降水。

雨水叠加利用模式, 其水平田面在雨季所得到的水量:

$$W_1 = P + P_c + P_c L (\cos\alpha \sin\beta) \alpha_0$$

式中:  $\alpha$ ——径流发生地段地面坡度;  $\beta$ ——雨点着地倾角;  $\alpha_0$ ——径流系数;  $L$ ——倾斜坡长度。

比较  $W_s$  与  $W_1$ , 隔坡梯田的水平田面部分在雨季多得到  $P_c L (\cos\alpha \sin\beta) \alpha_0$  水量, 由此可见隔坡梯田(水平面)内的土壤水分优于水平梯田田面。对此, 汝阳县水保站进行了水平梯田与隔坡梯田土壤贮水量对比性观测, 见表 1。

表 1 汝阳县隔坡梯田和水平梯田试验区 1 m 土层内土壤贮水量比较表

观测日期	降水量 /mm	隔坡梯田			水平梯田 (内侧)	休闲坡耕地 (对照)
		坡位	坡段 (牧草)	水平田面 (内侧)		
旱季(2003-06-16)		坡顶	43	120	110	55
		坡中	46	123	115	57
		坡脚	47	125	116	58
雨季(2003-08-20)	102	坡顶	66	140	126	83
		坡中	71	146	133	87
		坡脚	73	150	136	90

由表 1 可知, 隔坡梯田与水平梯田相比, 田面相同部位(内侧)的土壤贮水量平均高出 7%~11%; 与坡耕地相比, 平均高出 66%~118%。因而在条件许可的情况下(如人均耕地不太紧缺的地区), 应大力提倡修建隔坡梯田。

隔坡梯田的田面修筑技术和水平梯田相同。坡段区要注意种植草本植物或灌木, 以尽量减小坡面径流强度, 减少水中含沙量, 同时增强坡面的稳定性。依据汝阳县经验, 隔坡梯田的田面宽度与坡面宽度之比可掌握为: 坡度 2° 以下地区 1:1; 25~30° 地区 1:2; 30~40° 地区 1:3。

雨水叠加利用模式除隔坡梯田外, 还包括隔坡水平阶整地造林、鱼鳞坑等水土保持工程措施, 其雨水叠加利用原理与隔坡梯田相同。

### 1.3 雨水资源异地利用模式

在雨水资源开发利用中, 有时坡面产生的径流在当地无法或勿需利用, 可在其它地方或缺水时待用, 这就需要采取一定的工程措施将坡面径流引向异地, 从而既解决了当地坡面的土壤冲刷问题, 也使坡面雨水资源得到有效利用, 起到变害为利的作用。雨水异地利用工程型式主要是蓄水池和水窖(窖)、池、窖组合主要有以下 8 种模式:

(1) 山前台地布窖。即在山坡与阶地的结合部布设水窖, 把山坡坡面的扇形汇流, 经过滤沉淀后存入窖中。

(2) 梁峁布窖。即利用梁脊道路, 在道路边沟附近布设水窖, 以拦蓄路面及其内侧坡面集水。

(3) 低洼地布设梅花型水窖。即在坡面的低洼处, 将若干个水窖按梅花形布置成群, 群窖之间用暗管连通, 由中心窖抽水灌溉。

(4) 在梯田区布设排子型水窖。即沿梯田等高线方向布一排水窖, 窖底以暗管串通, 并在此块梯田的地坎上设暗管直通窖内, 使窖内存水自流浇灌下块梯田。

(5) 路边窖。利用各种等级公路良好的路面集水条件和已有的边沟设施, 结合地形, 把水窖布设在路界以外的农田内, 以蓄集路面汇流雨水灌溉农田。

(6) 庭院窖。利用庭院地面、麦场、屋顶作集雨场, 在房前屋后的合适地方建造水窖, 供人畜饮用或灌溉附近农田。

(7) 井式水窖。丘陵缓坡区土壤入渗率高, 雨强弱时不易产生地面径流, 可布设井式水窖(窖体下半部进行防渗处理以确保能够蓄住水, 上半部干砌以有利于土壤水渗入窖体)。使用时配手压机或单相潜水泵将水抽出地面供人畜饮用或用作灌溉。

(8) 池窖组合型。首先在坡面的凹形低洼处建一蓄水池将坡面雨水汇入其内, 然后埋管(或修渠)将水送至用水点处的水窖(一窖或多窖)供农田灌溉或人畜饮水。

## 2 沟道水资源水土保持开发利用模式与关键技术

降水经坡面地表径流及土内渗流汇入沟道后, 将对沟底及沟道两岸产生水力侵蚀。为防止或减轻侵蚀, 并有效地开发利用沟道洪水资源, 变害为利, 应在沟道修建以蓄水为主, 兼具削峰、拦沙功效的小型集流坝。

### 2.1 集流坝主要参数确定

#### 2.1.1 布坝密度

根据对汝阳、嵩县 2 条典型小流域, 流域面积、治理程度、集流坝数量、筑坝密度、平均坝高等资料的研究分析, 筑坝密度与沟道水文地质条件及沟道宽窄形状有关。当治理程度达到 80% 以上时, 土石山区的布坝密度以 0.5~0.6 座/km<sup>2</sup> 为宜, 丘陵沟壑区以 0.6~0.75 座/km<sup>2</sup> 为宜。见表 2。

表 2 典型小流域集流坝布坝密度调查表

类型区	典型小流域	流域面积/km <sup>2</sup>		治理程度/%	集流坝数	筑坝密度/座/(km <sup>2</sup> )	平均坝高/m
		总面积	水土流失面积				
土石山区	汝阳浑槽河	43.58	29.49	83.3	17	0.58	8.5
黄土丘陵沟壑区整区	嵩县泥河	20.32	15.19	83.7	11	0.72	8.5

#### 2.1.2 蓄水规模

集流坝的蓄水规模和当地的降雨量、下垫面特性以及用水需求有关。根据对 2 条典型小流域集流坝蓄水规模的调查分析研究, 土石山区的单坝蓄水规模宜设计为 5 000~

10 000 m<sup>3</sup>, 丘陵沟壑区 10 000~ 25 000m<sup>3</sup>。见表 3。

表 3 典型小流域集流坝蓄水规模统计表

类型区	典型小流域	建坝数/座	总蓄水/万 m <sup>3</sup>	平均单坝蓄水/m <sup>3</sup>
土石山区	汝阳浑槽河	17	13.18	7750
黄土丘陵沟壑区	嵩县泥河	11	20.3	18450

2.1.3 坝高与库容关系

坝高与库容关系主要取决于流域形状。土石山区的流域形状大多呈 V 型狭长状, 丘陵沟壑区大多为 U 型宽阔状。通过对汝阳、嵩县 2 条典型小流域内集流坝坝高与对应蓄水量进行统计分析(见表 4), 得到以下关系式:

土石山区:  $V = 33H^{2.55}$

丘陵沟壑区:  $V = 113H^{2.34}$

2.2 开发利用模式

布坝密度、适宜蓄水规模及合理坝高确定后, 即可根据当地的自然条件选择开发方式。豫西一带适宜的开发方式有以下 3 种:

(1) 拦沟坝。这是集流坝的主要开发形式。可根据适宜的集水面积、口小肚大的地形条件和良好的坝址条件等选择坝址坝型。在优选坝型时, 注重考虑因地制宜、就地取材的原则, 一般土石山区选择砌石重力坝或砌石拱坝; 黄土丘陵区及黄土塬区多适宜均质土坝、心(斜)墙坝、土石混合坝等。

(2) 截潜流。豫西山丘区年内降雨分配极不均匀, 暴雨集中, 常常是洪水形成快、峰值高、挟沙量大, 不适宜修建以蓄水为主的集流坝, 而塬区及丘陵区多系近代河流冲积形成的潜水区, 沟道含水层厚度大且埋深较浅, 岩性多为中粗砂和卵砾石, 透水性较大, 对于修建河床地面以下的截潜流坝十分有利。

从汝阳县上店镇 1996 年在砂砾质淤积河床上修建的 4 座截潜流坝(截水墙有浆砌石和黏土两种类型)的运行情况看, 其具有以下明显优点: 位于河床以下, 不影响沟河行洪; 淤积少, 使用寿命长; 水源充沛, 补给频率高; 经砂层过滤, 水质较纯净, 既可用于喷、滴灌, 又可用于人畜饮水及工副业生产用水; 就地取材, 易于在山丘区的中小河流上建造推广。

表 4 典型小流域集流坝坝高与对应库容关系表

汝阳土石山区		嵩县黄土丘陵沟壑区	
坝高/m	库容/m <sup>3</sup>	坝高/m	库容/m <sup>3</sup>
19.7	66000	17	86000
10.0	11000	10	25000
9.5	10000	9.1	20000
8.2	7000	8.5	17000
7.7	6000	8.1	15000
7.4	5400	7.6	13000
7.2	5000	7.0	10000
6.5	4000	6.0	7500
6.0	3000	5.0	5000
5.5	2500	4.0	3000
5.2	2200	3.0	1500
5.0	2000		
4.8	1800		
4.5	1600		
4.5	1500		
4.5	1400		
4.5	1400		
合计	131800		203000

(3) 人字闸。人字闸是一种半固定式蓄水闸门, 属轻型的小型挡水坝, 适应范围较广。据汝阳、栾川等县在山丘区河道及沟谷上的建闸经验, 其结构特点: 闸前水深  $H = 1.5 \sim 3 m$ ,

撑杆倾角  $= 60 \sim 65^\circ$ , 撑、压杆跨度  $R = 0.75H$ , 撑、压杆结点高度  $h = 0.84H$ 。人字闸优点: 闸板活动, 可装可卸。蓄水期装板蓄水灌溉, 汛期卸板泄洪冲淤; 造价适中, 一般每米坝长投资 2 000 元左右, 按库容折算 1 m<sup>3</sup> 5~ 8 元; 适宜山区小泉小水的拦蓄, 与水渠、提灌站、流动泵站配套使用十分方便; 适宜小面积地块使用, 一般 1.3~ 2 hm<sup>2</sup> 的地块即可建一处小型人字闸; 运行管理方便, 不蓄水时可将面板拆装运走; 可以梯级开发, 有利于水资源的充分利用。

2.3 运用方式

集流坝的主要功能是兴利蓄水, 为流域内的生态、生产、生活提供必要的水源, 而用水点到坝址有一定的距离, 根据配套工程设施类型及布局特点, 可将集流坝运用方式分为 4 种类型:

(1) 坝- 坝连环型。建集流坝系工程。从沟道上游至下游, 依次布设谷坊和集流坝。其运用方式: 一种是清洪分治、排洪蓄清、蓄排结合, 如人字闸、截潜流及设置有专用排洪通道的拦沟坝; 另一种是上坝拦沙落淤、下坝滞洪蓄清。

(2) 坝- 窖组合型。先由集流坝将上游坡面来水蓄积起来, 然后通过渠(或管)道输送给水窖, 再由水窖转送至用水点。

(3) 坝- 池组合型。工作原理和坝- 窖组合型相同。

(4) 坝- 池- 窖组合型。即先由集流坝将水送至蓄水池, 然后再转送至水窖供用户使用。

3 山泉溪流水资源开发利用模式

从传统角度讲, 一般日径流量小于 20 m<sup>3</sup> 的山泉小溪即无开发利用价值, 而豫西山区由岩层隙水、土壤渗水等形成的小山泉较多, 这对于水资源尤为短缺的豫西山区十分珍贵, 且小山泉流出距离短, 没有污染, 水质好, 含沙率低, 能够满足各类用户对水质的需求, 因此开发利用具有一定的使用价值。近几年, 豫西地区以解决人畜饮水困难为主, 对山泉溪流进行了较大规模的开发, 工程形式主要有以下两种。

(1) “长藤结瓜”式。即先在泉水出露处建一小型蓄水池(可明可暗), 然后埋管或修渠(多采用埋管以减小渗漏损失)通往用水区, 若用水点比较分散, 可在管道沿线依用户分布情况再布设若干个蓄水池或水窖以调蓄来水, 这种形式在豫西山区的人畜饮水工程建设中最为常见。

(2) “渠道带蛋”式。即先在泉水出露处建一小型蓄水池, 然后埋管或修渠并沿用水线路每到一用水点设置一蓄水池, 再由此蓄水池溢水口向下一蓄水池埋管或修渠送水, 直至终点。这种形式适合于用水点比较分散的地区, 其优点是利于微水资源的充分开发利用(上游用不完的水可转送至下游使用), 缺点是上、下游的用水保证率有时差异较大。

4 总 结

通过对豫西山丘区雨水资源的三种水土保持开发利用模式及关键技术较为系统的分析研究, 可将其归纳为图 2。

由图 2 可知, 三种模型的雨水开发方式其基本要素都是由集雨、存贮、利用三部分组成, 工作原理是将山坡坡面、山泉溪流作为集流场, 梯田、池、窖、坝等拦蓄工程作储水体, 用水对象为终点, 三者有机结合, 统一发挥作用。

4.1 集雨场

集雨场是整个雨水利用系统之首, 它是靠一定产汇流面积的天然或人工集流场地将降雨汇集起来, 供蓄水部分存储。用于农田灌溉、集中供水和水土保持生态工程建设的集流场大都采用天然集雨场, 而专用于农村人畜饮水的工程则一般采用人工集雨场。

1.445 4, 其他各森林景观类型斑块分形维数都趋过于 1, 斑块形状趋于规则。

(3) 在生态经济分区的基础上, 将各森林景观类型按分类经营和健康诊断要求归并为生态型、经济型和生态经济型

参考文献:

[1] 贾宝全, 杨洁泉. 景观生态学的起源与发展[J]. 干旱区研究, 1999, 16(3): 12- 18.

[2] 肖笃宁. 论现代景观科学的形成与发展[J]. 地理科学进展, 1999, 19(4): 379- 384.

[3] 许慧, 王家骥. 景观生态学的理论与应用[M]. 北京: 中国环境科学出版, 1993.

[4] 中国 1: 100 万土地类型图(地貌、植被、土壤) 制图规范[M]. 北京: 测绘出版社, 1989.

[5] 徐化成, 秦勇, 郑均宝. 生态土地分类及其在林业上的应用前景[J]. 林业科学, 1998, 34(1): 1- 8.

[6] 阎传海. 山东南部地区景观生态的分类与评价[J]. 农村生态环境, 1998, 14(2): 15- 19.

[7] 阎传海. 淮河下游地区景观生态评价[J]. 生态科学, 1999, 18(2): 46- 52.

[8] 阎传海. 江苏北部景观生态评价[J]. 徐州师范大学学报, 1999, 17(2): 42- 46.

[9] Roll J S(林超译). T 加拿大生态分类的理论[J]. 地理译报, 1986, (1): 17- 22.

[10] 赵弈, 李月辉. 实用景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[11] 王仰麟. 景观生态分类的理论方法[J]. 应用生态学报, 1996, 7(增): 121- 126.

[12] 汤茂林. 文化景观的内涵及其研究进展[J]. 地理科学进展, 2000, 19(1): 70- 79.

[13] 肖笃宁, 钟林生. 景观分类与评价的生态原则[J]. 应用生态学报, 1998, 9(2): 217- 221.

[14] Forman R T T. Land Mosaics: the Ecology of Landscape and Region[M]. New York: Cambridge University Press, 1995.

[15] Nellis M D, Briggs J M. The effect of spatial scale on Konza landscape classification using textural analysis[J], Landscape Ecol, 1989, 2(2): 93- 100.

[16] Bastian O. Landscape classification in Saxony[J]. Landscape Urban Plan, 2000, 50: 145- 155.

[17] 王岩松, 沈波. 松辽流域景观分类研究[J]. 水土保持科技情报, 2001, (6): 36- 38.

[18] 王兮之, 王刚. SPOT 4 遥感数据在荒漠- 绿洲景观分类研究中的初步应用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1113- 1116.

[19] 孙玉军, 王雪军, 张志, 等. 基于 GIS 的森林景观定量分类[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2540- 2544.

[20] Vink A P A. Landscape Ecology and Land Use[M]. London: Longman, 1983.

[21] 王小平, 甘敬, 薛康, 等. 密云水库水源保护区可持续发展战略研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.

[22] 余新晓, 于志民, 等. 水源保护林: 培育、经营、评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.

(上接第 132 页)

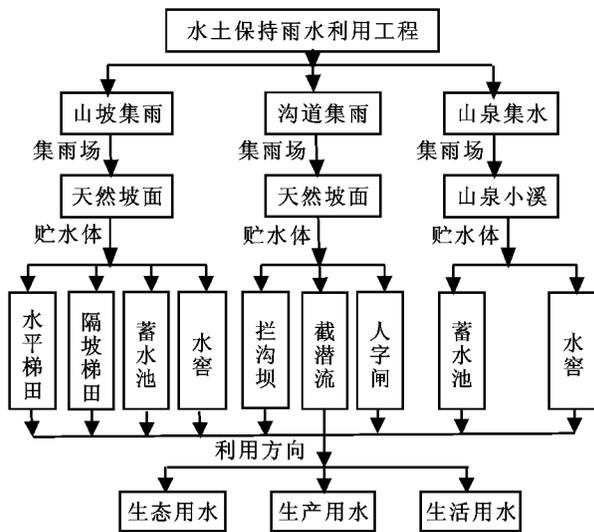


图 2 水土保持雨水利用工程模式

4.2 贮水体

贮水体包括主体工程及其附属设施, 其作用是存储集雨场汇集输送而来的雨水。

(1) 主体工程。包括水窖(窑)、蓄水池、集流坝、水平梯田、隔坡梯田等若干类型, 其设计时可根据当地的地形、地质、水文、气象及用水要求单独使用, 也可联合使用(如坝—窖联合、坝—池联合等)。常见的水窖(窑)、蓄水池、集流坝等类型储水体设计技术见陈维杰《集雨节灌技术》。

三类。其中, 生态型森林景观是集水区的主导景观类型。

(4) 集雨区的森林景观受到了强烈的人类活动干扰, 能否发挥保护水源等生态功能, 急需借助于多时像遥感影像等手段, 对其健康状态作出科学诊断。

(2) 主要附属设施。贮水体的主要附属设施是输排水设施、沉沙池、谷坊、拦污栅和窖口窖台等。

输水设施的主要作用是将集雨场汇集起来的雨水输送至贮水体, 如果贮水体是采取联合运用的形式(即同时多个贮水体并存), 还应承担贮水体之间的连接输水任务。输水设施一般是采用渠道、管道两种形式, 其中渠道多用于集雨场向首个储水体的输水, 管道则多用于贮水体之间的输水。另外, 为确保贮水体的稳定与安全使用, 还应在贮水体的适当部位设置排水设施。

沉沙池的主要作用是沉降进窖(蓄水池)水流中的泥沙含量, 一般设置在水窖(蓄水池)进口上游 2 m 左右的地方。

谷坊作为拦沟坝的必配附属设施, 其作用是拦蓄坝上游的来沙, 以延长拦沟坝的蓄水寿命。豫西拦沟坝依其控制流域面积大小及土壤植被情况, 一般每座都配有 5~ 10 道谷坊工程。

拦污栅的主要作用是拦截进窖(蓄水池)水流中的悬移质和漂浮物, 设在沉沙池的进口处。

窖口窖台的主要作用是保证水窖取水口不被损坏, 同时防止污物进窖。

4.3 高效利用

修建各类雨水集蓄工程的最终目的是合理高效利用雨水资源。当集雨工程主要用于城乡供水时, 则应按供水要求配设管网等设施; 当集雨工程主要服务于农田灌溉时, 则应按当地自然条件和作物灌溉要求, 进一步配套输配水系统和田间灌溉设施, 详见路振广《基于非充分灌溉原理的集雨节灌技术》。