

# 水利水保工程措施实施对局地降水影响初析

王云璋, 王昌高, 康玲玲

(黄河水利委员会 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003)

**摘要:** 根据黄河中游三门峡水库高水位运行期和黄土高原水土保持世界银行贷款项目实施 8 a 来有关监测数据, 结合区域内气象资料, 分析了水利水保工程措施实施所引起局地降水的变化。结果表明, 由于水库大量蓄水和大规模林草、梯田等坡面措施及相当数量沟道坝库工程的实施, 不仅改变了下垫面状况, 而且较多地截留雨水和拦蓄地表径流, 增多了内源水汽, 加快了区域水分循环, 从而改变了当地小气候特性, 并对局地降水产生一定影响。

**关键词:** 降水; 水土保持; 水利工程; 黄河中游

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2004)04—0006—04

中图分类号: S157

## Effect of Engineering Measures for Water Conservancy on Local Rainfall

WANG Yun-zhang, WANG Chang-gao, KANG Ling-ling

(Yellow River Institute of Hydraulic Research, Water Conservancy

Committee of the Yellow River, Zhengzhou 450003, He'nan Province, China)

**Abstract:** This study involved analysis of the effect of engineering measures for water conservancy on local rainfall. The analysis was based on data collected over 8 years, during the period of high water levels in Sanmenxia Reservoir, on the middle reach of the Yellow River. Data collection followed implementation of the World Bank Loan Project for soil and water conservation in the Loess Plateau. Meteorological data was also used. The results show that high volume water storage in reservoir and the implementation of large scale afforestation and grassland establishment and earth works, such as slope terracing and check dam construction, altered the base soil and water conditions. Rainfall interception increased and runoff were impounded. The engineering measures ultimately increased water vapor production and regional moisture circulation, so that the local microclimate was improved and rainfall increased.

**Keywords:** rainfall; soil and water conservation; hydraulic engineering; middle reach of the Yellow River

## 1 前 言

据至 2000 年资料统计, 黄河流域已建大、中、小型水库及塘堰坝等蓄水工程约 10 100 座, 总库容约  $7.20 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , 其中大型水库 22 座, 总库容达  $6.17 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。这些水利工程建设, 不仅在蓄水发电和灌溉等方面取得了巨大的成就, 而且为配合下游防汛(防凌)和水资源合理利用及确保黄河下游不断流等方面发挥了积极的作用。与此同时, 为了遏制黄土高原严重的水土流失, 减少入黄泥沙, 并发展当地经济和改善生态环境, 在黄河中上游广大地区, 尤其是多沙粗沙区开展了水土保持综合治理。取得了较为明显的社会、经济和生态效益。

关于黄河中游水利水保工程建设所产生的影响, 很早就引起了人们的关注, 并对此进行了分析研究。但是, 以往较多的研究主要侧重于水利工程运行对下游河道、洪水和凌情的影响, 以及水土保持对产、汇流特性、入黄泥沙和当地土壤理化性质影响等方面的分析<sup>[1-3]</sup>。至于水利工程的运行和水土保持措施实施对于局地气候影响的问题, 尚未见有系统的分析研究。

为此, 作者将主要根据黄河中游三门峡水库高水位运行期间和黄土高原水土保持世界银行贷款项目 1994 年实施以来的小气候监测数据及有关气象资料, 就水利水保工程措施对局地气候的影响进行分析。由于篇幅所限, 本文只分析水利水保工程措施对降水的影响。

## 2 水利水电工程概况

### 2.1 三门峡水库及其运用概况

三门峡水利枢纽是黄河干流上修建的第1座大型水利工程, 水库坝址位于河南省三门峡市北郊, 坝高106 m, 坝长963 m。水库控制面积达 $6.88 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 约占流域总面积的92%。水库自潼关至坝址为峡谷型, 全长113.5 km, 区间面积约 $6240 \text{ km}^2$ 。该区北依中条山, 一般山脉高程在1000 m以上, 南有华山、崤山, 高程大多在700 m左右。水库上段为东西向, 下段基本呈西南—东北走向。

水库于1960年夏建成, 当年秋季正式蓄水运用。1961—1964年期间, 除6—8月份因防洪运用水库畅泄外, 大多采用高、中水位的运用方式(1964年汛后水库基本处于312 m以下低水位运用; 1966年以后对水库进行了改造), 平均运用水位在316.24 m左右, 平均蓄水量为 $1.50 \times 10^9 \text{ m}^3$ 左右, 相当于建库前的16.6倍; 其相应的库水表面积平均达 $138 \text{ km}^2$ , 较原河道水面积(约 $48 \text{ km}^2$ )扩大了近2倍。在大坝以上形成了一个相当规模的人工湖泊。结果, 改变了该区原有大气与下垫面间热量的交换和平衡状态, 并破坏了原有库区的水分内循环, 从而导致了库周地区(以下简称库周)气候的变化。

### 2.2 世行项目及其实施情况

黄土高原水土保持世界银行贷款项目(以下简称世行项目), 是目前我国政府利用外资进行水土保持综合治理的一个大型项目。项目总投资 $2.17 \times 10^9$ 元。项目区包括黄河中游水土流失严重的山西省蔚汾河、昕水河、河曲县、保德县、偏关县, 内蒙古自治区的罕台川、哈什拉川、呼斯太河, 陕西省的延河、佳芦河和甘肃省的马莲河等9条支流(片), 涉及7个地(盟)、21个县(旗), 总面积 $16068 \text{ km}^2$ 。<sup>[24]</sup>

项目从1994年开始实施, 截至2001年底累计完成各项治理面积 $4.22 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 其中水平梯田 $6.10 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 坝地和水地 $1.30 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 水保林 $2.02 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 经济林 $5.50 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 人工种草 $9.10 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ; 建成治沟骨干坝123座, 淤地坝1023座。项目的实施, 使该区水土流失基本得到控制, 林草植被覆盖度由原来的11.4%增加到27.3%, 治理度由原来的21.3%提高到51.5%<sup>[5]</sup>。项目治理措施的实施, 不仅由于改变下垫面条件而使径流泥沙的时空分布发生变化和减少了入黄泥沙, 有效地截留雨水、拦蓄地表径流, 提高了水资源的利用率, 而且改良土壤, 提高土地生产力, 促进了当地经济发展; 同时, 随着造林、种草面积的扩大和植被覆盖度的提高, 以及高标准水

平梯田和治沟骨干坝、淤地坝等滞蓄和拦截径流工程的增多, 所引起项目区下垫面性质、粗糙度的改变和包括土壤含水量在内的贮存水量增加, 使得当地大气与下垫面之间的水分、热量、辐射及其它物质的平衡关系发生变异, 进而影响了当地小气候的特性。

### 3 三门峡水库高水位运行对库周降水的影响

为了分析三门峡水库蓄水运用对库周降水的影响, 我们在库周选取10个雨量站, 同时又参考文献[6]关于水库影响降水的水平范围之分析, 选用西安、洛阳、垣曲、卢氏和运城5站作为表征大范围降水变化趋势的参证站。然后, 通过对比建库前(1957—1960年, 以下同)、后(1961—1964年, 以下同)各站降水量变化, 以分析水库高水位运行对库周降水量及其时空分布的影响。

#### 3.1 对降水空间分布的影响

图1, 2分别给出了三门峡水库库周地区在建库前、后的累年平均降水量等值线。由图1, 2可见, 建库后库周大部分地区降水有所增加, 其中以建库前降水偏少的测站最甚, 最大增量近300 mm, 相当于建库前年降水量的75%; 而库周原有降水量偏多的地区, 则相对减少。因此, 库周年降水量的水平梯度减少, 区域分布趋于均匀。这一变化对于农林牧业生产是十分有益的。

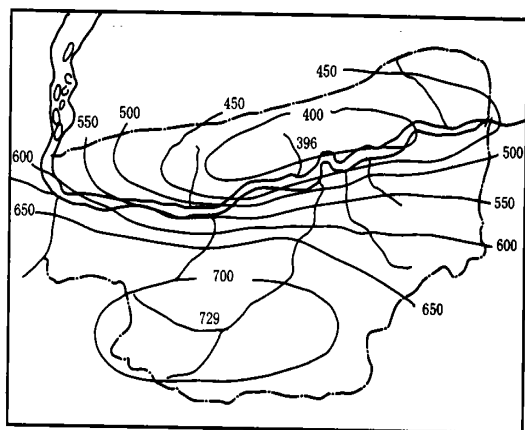


图1 三门峡库周建库前年降水量分布

库周降水的上述变化, 可以认为是由大范围气候变化和水库降水效应2部分组成。为了分析后者的作用, 这里引用文献[6]中关于利用参证站建库前、后的降水量比值(并认为大范围降水量的前、后期比值不变), 推算出水库高水位运行对库周各站点降水影响增量的计算公式:

$$\Delta R = R - X \times R_0 / X_0 \quad (1)$$

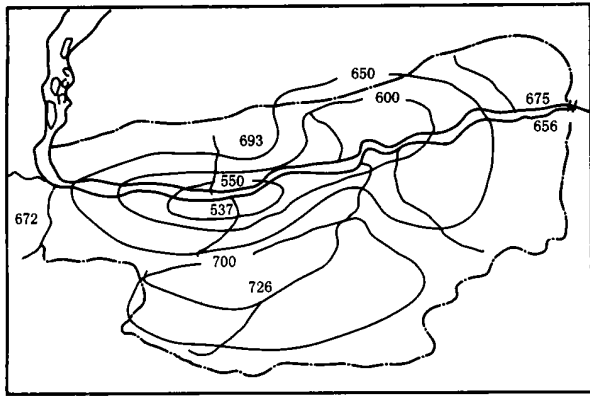


图 2 三门峡库周建库后年降水量分布

将其左右两侧除以  $R_0$ , 即得到水库高水位运行对库周各站点相应时期降水影响增量的百分率:

$$K\% = (R/R_0 - X/X_0) \times 100 \quad (2)$$

式中:  $R_0, R$  —— 分别代表库周测站在建库前、后的平均年降水量;  $X_0, X$  —— 参证站对应于建库前、后的平均年降水量;  $\Delta R, K$  —— 库周测站由于水库效应所产生的降水增量及其百分率。

结合库周地形分析, 对于水库高水位运行对降水影响的认识是: (1) 南岸大部分地区降水减少, 其中减少最多的是方家河站, 达 108 mm, 约为建库前年降水量的 2 成; (2) 北岸降水量普遍较建库前增加 2~4 成, 其增量大小与测站海拔高程及其到水域的距离有关; (3) 使库周降水的空间分布趋于均匀, 就整个库周而言, 其降水总量较建库前稍有增多。

### 3.2 对降水量季节分配的影响

表 1 列出了按公式(1)(2)分别推算出由于水库效应所引起的对季节降水增量及其百分率。

表 1 对库周季降水影响增量统计

季节	区域	南岸	北岸	库区
冬季	增量/mm	2.1	3.3	2.6
	百分率/%	9.7	22.6	13.0
春季	增量/mm	10.1	27.4	16.5
	百分率/%	9.1	35.3	16.3
夏季	增量/mm	-23.3	81.4	2.6
	百分率/%	-6.8	39.4	0.8
秋季	增量/mm	-41.8	-85.1	-31.8
	百分率/%	-30.0	-58.8	-28.5

分析水库高水位运行对库周降水时间分配的影响, 可以归纳为以下几点:

(1) 就平均而言, 水库效应所产生的降水增量在冬、春季较建库前增多 15% 左右; 夏季仅增多 1%; 秋季则减少近 3 成。

(2) 库周季节降水量占年降水量的比例, 夏季明显减少, 春、秋季有增大, 而冬季变化不大。

(3) 水库降水效应在南岸表现为冬、春季增多, 夏、秋季减少; 而在北岸表现为除秋季明显减少外, 其余各季都有显著增加。

由此可见, 水库的蓄水运用对水库周边地区的降水量时间分配的影响也十分显著。其原因在于冬、春季因水库的温度效应, 低层空气增暖, 使大气的不稳定度增大, 对流作用加强, 故有利于降水的产生; 在夏季, 因水库畅泄, 故库周降水量增加甚微; 而到了秋季, 则由于库水面的热力作用与冬春季相反, 因此库周降水量明显减少。

### 3.3 对昼、夜降水量的影响

为了分析水库效应对库周日降水量的昼、夜分配影响, 统计了三门峡、灵宝等站建库前、后白天(08—20时)和夜间(20—08时)降水量及其差值的变化(表 2), 发现有以下几点变化:

表 2 建库前、后昼夜降水量变化统计 mm

季节	降水时段	建库前/建库后/		前、后差值	
		mm	mm	mm	%
冬季	20—08 时	13.5	10.9	-2.6	-19.3
	08—20 时	9.4	6.3	-3.1	-33.0
	差值	-4.1	-4.6	-0.5	-
春季	20—08 时	42.8	93.8	51.0	119.2
	08—20 时	65.7	71.6	5.9	9.0
	差值	22.9	-22.2	-45.1	-
夏季	20—08 时	196.1	142.2	-53.9	-27.5
	08—20 时	194.7	121.0	-73.7	-37.9
	差值	-1.4	-21.2	-19.8	-
秋季	20—08 时	78.3	109.5	31.2	39.8
	08—20 时	54.2	107.5	53.3	98.3
	差值	-24.1	-2.0	22.1	-
全年	20—08 时	330.7	356.4	25.7	7.8
	08—20 时	324.0	306.4	-17.6	-5.4
	差值	-6.7	-50.0	-43.3	-

(1) 全年白天降水量减少, 夜间降水量增多; 昼、夜降水量之差明显增大; (2) 春季夜间降水增加 1 倍多, 日降水量分配由建库前白天多于夜间转变为夜间多于白天; (3) 夏季昼、夜降水量均有减少, 尤以白天减少更甚; (4) 秋季与春季相反, 由于白天降水量较建库前增多近 1 倍, 故昼、夜降水量之差有明显减小; (5) 冬季昼、夜降水量之比例变化不大。

### 3.4 对降水日数及降水强度的影响

表 3 列出了建库前、后北岸(芮城、平陆为代表站)和南岸(三门峡、灵宝为代表站)全年及各季的降水日数。结合降水强度(年、季降水量与同期降水日数

之比值)分析,就其区域差异和季节变化,得到以下认识: (1) 库周平均降水日数增加 11d;就增加的百分率而言,以北岸最大,强度增强也最甚;而在南岸,虽然 0.1mm 的日数增多 13%,但 25mm 的日数反而减少 29%。(2) 冬季整个库周降水日数减少 22%左右,强度也相应减弱。(3) 春季降水日数明显增多,降水强度南、北岸均有增强。(4) 夏季降水日数南岸减少,尤其大雨日数减少 50%;北岸增多,特别大雨日数增多达 67%;(5) 秋季 0.1mm 日数南、北岸分别增 46%和 40%,降水强度有所增强,以北岸最甚。

表 3 建库前、后降水日数统计表 d

季节	时段	北岸		南岸		平均	
		0.1	25	0.1	25	0.1	25
冬季	建库前	7	0	11	0	9	0
	建库后	7	0	8	0	7	0
	差值	0	0	-3	0	-2	0
春季	建库前	20	0	23	0	21	0
	建库后	19	2	28	1	23	2
	差值	-1	+2	+5	+1	+2	+2
夏季	建库前	31	3	32	6	32	4
	建库后	32	5	31	3	31	4
	差值	+1	+2	-1	-3	-1	0
秋季	建库前	25	1	24	1	25	1
	建库后	35	2	35	1	35	1
	差值	+10	+1	+11	0	+10	0
全年	建库前	83	4	90	7	86	5
	建库后	93	9	102	5	97	6
	差值	+10	+5	+12	-2	+11	+1

综上所述,峡谷型水库对库周降水量的影响比较复杂,其影响程度不仅取决于库水面蒸发和水库温度效应对于低层大气稳定度作用的差异,且直接与库区盛行风向及地形、地势有关。即在时间分配上,表现为冬、春季和夜间的降水量增多,秋季和白天的降水量明显减少;在区域分布上,以盛行风向的下风岸、尤其是地势较高(海拔约 500m)、离水域 5~10km 的迎风坡上降水量明显增多,其余地方降水量变化不大,特别是近邻水域的上风岸,其降水量反而明显减少。

#### 4 世行项目实施来部分地区降水变化

世行项目实施 8a 来,随着下垫面性质改变,尤其措施面积扩大、林草植被度提高和截留雨水数量增加,同时大量库坝塘和高标准梯田所拦蓄径流量不断增多,增强了林冠蒸腾和下垫面蒸发,增多了内源水汽,加快了区域水分循环,使得项目区及下风向邻近地区降水发生变化。

#### 4.1 项目区夏半年降水的变化

表 4 列出了各项目区实施前(以 1987—1993 年代表)、后(以 1994—2000 年代表)夏半年(5—10 月)降水量差值,以及以呼和浩特、榆林、临汾、天水、西峰为参照站,消除区域气候变化影响后由水保措施所引起降水量变化的百分率。由表可以看到,各项目区后期降水量虽然都比前期减少 5%~10%,但与参照站平均减少量相比,还是显得减少幅度比较小。若以参照站消除区域气候变化对降水的影响,则由水保措施所引起降水量增加的幅度仍达到 5%~10%。

表 4 各项目区夏半年(5—10 月)降水量对比及变化百分率统计表

项目区	前期/ mm	后期/ mm	后期与前期 差值/mm	变化/ %
参照站平均	408.6	348.3	-60.3	—
伊盟项目区	345.1	315.6	-29.5	+6.3
延河项目区	388.6	368.1	-20.5	+9.5
马莲河项目区	451.5	409.4	-42.1	+5.5
山西项目区	403.4	370.3	-33.1	+6.6
项目区平均	397.2	365.9	-31.3	+7.0

#### 4.2 马莲小流域 3d 累积降水量的变化

图 3 给出了甘肃省庆阳地区马莲河砚瓦川小流域与西峰参照站 3d 累积降水量差值的变化曲线。明显可见,虽然 8 月上、中旬伏旱期砚瓦川小流域降水量有所减少,但其它时间呈增多趋势,其中以 7 月最甚。若以西峰站消除区域气候变化的影响,则该期间 3d 累积降水量平均增多 1.51mm。初步表明,水土保持措施的实施,使该小流域暖季降水平均增加 18.3% (表 5)。

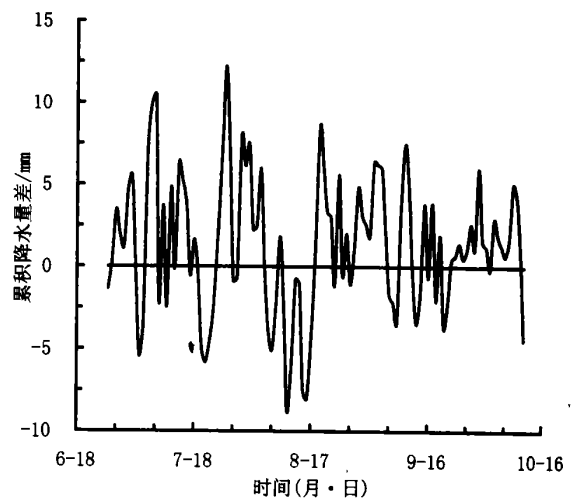


图 3 砚瓦川—西峰 3d 累积降水量前、后期差值变化曲线

(下转第 13 页)

政手段,单纯地为了水土保持而搞水土保持,工作既不能持久,也收不到好的效果<sup>[4]</sup>。所以遂宁市市中区强调经济效益,把水土保持工作与群众的脱贫致富结合起来,退耕的丘陵旱地除了部分营造了乔灌木相结合的水土保持林外,更多的是种植了经济果木,实行果粮和桑粮间作,这样不仅可以大大改善生态环境,其社会效益也是不言而喻的。旱地转化为建设用地是遂宁市城镇化进程加快的结果,可以在一定程度上抑制土壤侵蚀,但耕地仍然是农民的生存之本,因此建设用地大量占用耕地的行为是不足取的

## 4 结 论

以上分析表明,遂宁市市中区的土地利用变化总体上是有利于水土保持的,土壤侵蚀的面积和强度都呈现出下降趋势。土地利用的变化主要发生在旱地、水田、林地和建设用地等类型中,具体表现为旱地和水田向林地和建设用地的转化。旱地向林地或建设用地的转化都有利于土壤侵蚀强度下降,但是水田向林地和建设用地的转化对土壤侵蚀没有很大的影响。因此,退耕还林主要是在坡耕地、坡荒地上种植经济果木或水土保持林。城镇建设和交通建设大量占用良田

不利于地方可持续发展。遂宁市市中区水田变成建设用地的现象比较明显,应该引起重视。研究区内土壤侵蚀面积和强度的变化更多的是发生在丘陵旱地,这无非是旱地内部转化造成的,主要是“长治”工程中坡改梯的成果。总而言之,土壤侵蚀的治理主要是对丘陵旱地的整治,坡改梯工程收效较快,大大改善了农业生产条件,促进了农业持续稳定的发展,在遂宁市市中区的土壤侵蚀治理过程中起了关键性的作用;退耕还林收效周期较长,虽然目前效果没有坡改梯明显,但从综合效益和长远效益看,仍然是一条不失特色的可持续发展道路。

### [参 考 文 献]

- [1] 倪晋仁,李英奎.基于土地利用结构变化的水土流失动态评估[J].地理学报,2001,56(5):611—621.
- [2] 李昌志,刘兴年,等.GIS技术在水土保持初设中的应用[J].水土保持通报,2001,21(4):34—37.
- [3] 遂宁市市中区水土保持办公室.遂宁市市中区“长治”工程综合治理效益分析[J].四川水利,1995,16(4):42—45.
- [4] 李昱,尚治安.集土梯田效益研究[J].水土保持学报,2001,15(5):37—40.

(上接第9页)

表5 3a 累积降水变化量统计表 mm

站 名	前期	后期	差值	变化量
西峰镇	9.50	7.00	- 2.50	—
视瓦川	8.27	7.28	- 0.99	+ 1.51

## 5 结 语

本文仅根据降水量及其时空分布变化就水利水保工程措施实施后所产生的气候效应作定性或定量分析,所得结论与有关研究成果基本一致,因此具有一定的学术和参考价值。

开展蓄水工程气候效应的分析研究是一项十分有意义的工作;它不但有益于指导已建水库及邻近地区的农、林、牧、渔业生产及编制发展规划的工作,而且对于进一步研究生态平衡和给拟建水库制定避害兴利对策,提供了重要依据。

水土保持综合治理所产生的局地降水变化,与沟道工程运行和梯田、林草等坡面措施实施时间及林草布局、长势密切相关。因此,分析结论具有一定的阶段性,无疑其影响程度将随着诸因素的变化而改变。

局地降水的变化是多因素综合影响的结果,如何消除其他因素影响,揭示水土保持综合治理的作用,目前尚缺少科学有效的方法。本文所采用参照站对比法虽然直观,且便于操作,但仍很粗糙,有待于进一步改进。

### [参 考 文 献]

- [1] 杨庆安,等.黄河三门峡水量枢纽运行与研究[M].郑州:河南人民出版社,1995.235—245.
- [2] 康玲玲,王云璋,刘雪,等.水土保持措施对土壤化学特性的影响[J].水土保持通报,2003,23(1):46—48.
- [3] 魏义长,康玲玲,王云璋,等.水土保持措施对土壤物理性质的影响[J].水土保持学报,2003(4)114—116.
- [4] 黄土高原水土保持世界银行贷款项目办公室.黄土高原水土保持世界银行贷款项目可行性研究[M].郑州:黄河水利出版社,1997.9—18.
- [5] 康玲玲,王云璋,魏义长,等.黄土高原水土保持世行贷款项目实施后的林草植被覆盖度变化[J].水土保持学报,2002(5):76—78.
- [6] 傅抱璞,朱超群.新安江水库对降水的影响[J].气象科技,1974(2):13—20.