

# 渭河流域减水减沙效益分析 与流域水沙变化趋势预测

柳荣先

(黄委会天水水保站·甘肃省天水市·741000)

## 提 要

截止1990年底,渭河流域共有水库522座,塘坝2666座,引水灌溉面积45.0万ha,水平梯田、人工林、人工草有效保存面积分别为3893.0km<sup>2</sup>、3407.9km<sup>2</sup>和1085.7km<sup>2</sup>,治理总面积8466.7km<sup>2</sup>,治理度19.0%。流域近期规划水库达到590座,淤地坝可淤地面积2333.3ha,治沟骨干工程蓄水能力20061万m<sup>3</sup>,引水灌溉面积70.78ha,治理总面积15921.3km<sup>2</sup>,治理度36%。流域远景规划治理总面积40214km<sup>2</sup>,治理度80.4%。采用水保法分别计算1970年至1990年,1990年至近期,近期至远景期各项水利水保措施减水减沙量及综合减水减沙效益。经推算现状,综合水保措施减水效益为28.71%,减沙效益为30.9%;近期,综合水保措施减水效益为32.0%~60.5%,减沙效益35.3%~84.0%;远景,综合水保措施减水效益为32.5%~40.7%,减沙效益为60.0%~87.0%。在近期和远景期分别遇丰、平、枯不同降水年份,渭河流域水沙趋势将发生显著变化。

关键词: 渭河流域 减水减沙效益 水沙变化 趋势预测

## Benefits of Decreasing Runoff and Sediment and Trend Forecast of Runoff and Sediment Changes in Weihe Watershed

Liu Rongxian

(Tianshui Soil and Water Conservation Station, Water Conservancy Committee  
of the Yellow River, Tianshui, Gansu 741000)

### Abstract

By the end of 1990, there were 522 reservoirs, 2666 small reservoirs, 450 thousand ha irrigation area by pumping, 3893.0 km<sup>2</sup> level terraced fields, 3407.9 km<sup>2</sup> artificial forest and 1085.7 km<sup>2</sup> artificial grassland in Weihe watershed. The total area harnessed has reached 8466.7 km<sup>2</sup>, and the harnessed degree has reached 19.0%. There will be 590 reservoirs to be constructed, 2333.3 ha siltizing soil with silt arrester, 2006.10 million m<sup>3</sup> water storage capacity for control of the key watershed, 70.78 ha irrigation area by pumping, 15921.3 km<sup>2</sup> the total harnessed area and 36% harnessed degree in the short-term plan. The total harnessed area will reach 40214km<sup>2</sup> and the harnessed degree will reach 80.4% in the long-term plan. The "Laws of Soil and Water Conservation" is used to calculate decreasing the amount of runoff and sediment and its comprehensive benefits for every measures of water conservancy and water conservation. The results show that the comprehensive benefits for decreasing runoff rate is 28.71% and for decreasing sediment rate is 30.9% at present. The benefits will be 32.0%~60.5% and

35.3%~84.0%, 32.5%~40.7% and 60.0%~87.0% in the short-term plan and long-term programm respectively. Tremendous changes of the trend of runoff and sediment will take place in Weihe watershed in different years (i.e, abundant rainfall year, average rainfall year and exhausted rainfall year).

**Key words** Weihe watershed the benefits of decreasing runoff and sediment the changes of runoff and sediment trend forecast.

## 一、流域概况及各类型区侵蚀特点

(一)流域概况 渭河是黄河较大的一级支流,发源于甘肃省渭源县乌壑山,流域地跨宁夏、甘肃、陕西三省(区),在陕西潼关附近汇入黄河,全长 818km,流域总面积 63 282km<sup>2</sup>,水土流失面积 44 214.44km<sup>2</sup>。以宝鸡林家村水文站为界,把流域划分为中上游和下游地区,华县水文站为流域控制站,根据该站 1954 年至 1989 年水文资料统计,多年平均降雨量 628.2mm,多年平均径流量为 63.04 亿 m<sup>3</sup>,多年平均输沙量为 1.438 亿 t,且降雨主要集中在汛期,水沙年际变化大,年内分配极不均匀,汛期降雨量、径流量、输沙量分别占全年的 82.3%、75%和 90%以上,而且暴雨集中、强度大,在黄土丘陵沟壑区和黄土高原沟壑区,垦耕指数高、植被差,往往形成强烈的水土流失。

(二)流域类型区的划分及侵蚀特点 根据渭河流域的自然地理情况及特点,我们大致划分为三大类型区:1. 黄土丘陵、黄土高原沟壑区。主要分布在渭河中上游及关中西部,该区黄土层深厚,土质松软、沟壑发育、地形支离破碎、植被差、暴雨集中且洪水凶猛,侵蚀模数 3 500~15 000t/km<sup>2</sup>·a;2. 土石山区。主要分布在流域东部和南部边缘地带,该区山势壮丽雄伟,地势险要,由森林及稀疏梢林组成,植被较好,水土流失轻微,年均侵蚀模数 500~1000t/(km<sup>2</sup>·a);3. 河谷川台及平原阶地区。该区主要分布在干流两岸及支流中下游,地势平坦,灌溉条件好,侵蚀模数 100~3000t/(km<sup>2</sup>·a)。

## 二、流域治理现状及水利水土保持规划

(一)流域治理现状 根据全流域水利水土保持综合治理统计资料,我们选择 56 个样点进行了大量的典型调查和验证,结合流域正射影像图的分析计算,对截止 1990 年底的资料进行了综合分析,全流域水平梯田保存面积 583.95 万亩,人工林保存面积 34.07 万 ha,人工草保存面积 10.85 万 ha,修筑淤地坝 2 003 座,已淤地面积 4.31 万亩,修建大中型水库 24 座,小 I 型水库 137 座,小 II 型水库 361 座,总库容量达 15.945 2 亿 m<sup>3</sup>,实灌面积 674.68 万亩,其中水库实灌面积 181.9 万亩,引水实灌面积 492.78 万亩。共治理水土流失面积 8 466.7km<sup>2</sup>,治理度为 19.0%。

(二)水利水土保持规划 根据《黄河流域黄土高原地区水土保持专项治理规划报告》和陕、甘、宁三省(区)《渭河流域水利水土保持专项治理规划报告》,三省(区)水土保持综合治理规划报告,渭河流域在近期水平梯田将达到 1 083.61 万亩,人工林 52.6 万 ha,人工草 34.31 万 ha,淤地坝可淤地面积 3.5 万亩,沟头防护、谷坊、涝池、水窖、塘坝共有蓄水能力 20 061 万 m<sup>3</sup>,累计水库达 590 座,库容 16.948 9 亿 m<sup>3</sup>,实灌面积 1 061.709 万亩,其中水库实灌面积 265.639 万亩,引水实灌面积 796.07 万亩,原有水库在近期将淤满 18 座,计算中扣除了淤满库容和拦水拦沙效益。近期累计治理面积将达到 2 387.6 万亩,治理度达 36%。在远景期,我们只考虑和计算水土保持规划,而且渭河流域水土流失面积得到基本治理,根据该流域土地利用现状及远景规划,在远景期全流域梯田面积可达 2 358.8 万亩,人工造林 117.6 万 ha、人工种草为 80.6 万 ha,淤地坝可淤地面积 123.5 万亩,

远景累计治理面积将达到 40 214km<sup>2</sup>,治理度 80.4%。

### 三、水利水保规划措施减水减沙效益计算

我们预测的渭河流域水沙变化趋势是以该流域各项规划措施完全实现为前提,并且假定在近期和远景期渭河流域分别遇到的丰、平、枯三种降雨情况,相当于该流域 1964 年、1968 年、1969 年降雨,再考虑到黄河流域的丰、平、枯降雨情况,又遇渭河流域 1958 年、1967 年、1968 年降雨,将以上拟定的几种降雨,分别发生在该流域近期和远景期,分析计算和预测渭河流域近期及远景期水沙变化趋势。

#### (一)规划坡面治理措施减水减沙量计算

坡面措施主要是梯田和人工林草,其减水减沙量计算公式为:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n M \cdot f_i \cdot \eta_i \quad (1)$$

$$\Delta W_s = \sum_{i=1}^n M_s \cdot f_i \cdot \eta_{si} \quad (2)$$

式中: $\Delta W$ ——坡面措施减水量,(万 m<sup>3</sup>);  $\Delta W_s$ ——坡面措施减沙量,(万 t);  $f_i$ ——某种坡面措施,(km<sup>2</sup>);  $\eta_i \cdot \eta_{si}$ ——某种坡面措施减水减沙指标;  $M$ ——计算时段内流域非治理状态下年产流模数(万 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>);  $M_s$ ——计算时段内流域非治理状态下年产沙模数(万 t/km<sup>2</sup>)。根据实际调查情况,当年草和 5 年幼林不起减水减沙作用,从计算面积中扣除。 $\eta_i$  和  $\eta_{si}$  是以天水水保站 1945 年至 1957 年梁家坪径流小区实测资料为基础,结合有关调查资料及大面积流域措施状况综合分析而定。考虑到降雨量的差异会引起流域产流产沙量的变化,故按丰、平、枯三种降雨年,分别确定相应的  $\eta_i$  和  $\eta_{si}$  值,见表 1。

$M$  值是根据流域沙量平衡原理采用下式求得:

表 1 渭河流域坡面措施减水减沙指标值

坡面措施	丰水年		平水年		枯水年	
	减水 (%)	减沙 (%)	减水 (%)	减沙 (%)	减水 (%)	减沙 (%)
水平梯田	81	86	92	98	100	100
人工林地	43	60	51	64	55	72
人工草地	37	68	47	65	57	63

$$S = S_0 + S_{\Sigma} + \sum_{i=1}^n (S/F) \cdot f_i \cdot \eta_{si} \quad (3)$$

$$M_s = S/F \quad (4)$$

式中: $S$ ——计算时段内流域非治理状态下年产沙量(万 t);  $S_0$ ——支流把口水文站或干流区间站实测输沙量(万 t);  $S_{\Sigma}$ ——流域内库坝工程拦沙量和灌溉引沙量(万 t);  $F$ ——流域面积(km<sup>2</sup>);其余符号同式(2)。

式(3)为  $S$  的隐函数,可通过试算求得  $S$ ,根据资料分析,1970 年以前治理程度很低,可近似看成无治理措施,因此,近期和远景期所假定的降雨个份,只考虑库坝、灌区减沙减水量。同理可得  $M$  值。规划措施逐年递增,至近期和远景期分别实现。根据(1)、(2)两式,分别计算渭河流域近期和远景期规划水利水保措施减水减沙效益及流域水沙变化趋势。

#### (二)库坝拦沙及水库灌区引水量计算

1. 干支流大中型及小型水库、治沟骨干工程拦沙量。干支流大中型及小(I)型水库,根据部分水库不同时间段的泥沙观测资料,进行分析计算并综合分析出水库控制流域面积的拦沙模数,由拦沙模数计算逐年拦沙量,对只有部分实测资料的小(I)型水库、沟头防护、谷坊、涝池、水窖及塘坝,先利用有资料部分求出用水比和淤积比,然后推求无资料部分的减水减沙量。淤地坝一般只有

已淤地面积数据,我们通过典型调查和参考各地淤地坝亩拦沙指标,综合分析出该流域淤地坝单位面积的淤积量,以此计算全流域淤地坝拦沙量,1990年以前的淤地坝大部分在近期及远景期淤满变成梯田,按梯田拦沙量计算。通过参阅沟道侵蚀试验研究成果,计算淤地坝及水库沟底下切和沟岸扩张的减蚀量,其减蚀量约占拦沙量的 1.2%,可忽略不计。因库坝工程拦沙中部分为推移质,不包括在水文实测输沙量中,所以必须扣除。据甘肃省内有关单位对渭河流域水库拦沙资料的分析,水库拦沙量中推移质泥沙约占 20%,本次计算中据此扣除,淤地坝除扣除推移质泥沙外还应扣除自然积累。考虑以上诸因素时均按全流域,中上游及下游区间,并按丰、平、枯不同降雨年份及汛期和非汛期分别确定系数计算。

2. 库坝灌区引水量。水库灌溉用水量有记载资料的用实际引水量,无记载资料的部分水库根据各地年亩灌溉定额计算,扣除地下回归水,按丰、平、枯不同降雨年份及汛期非汛期采用不同指标分别计算。淤地坝减水量按土壤饱和含水量计算,其减水量约占当年措施拦水量的 2%,可忽略不计。沟头防护、谷坊、涝池、水窖、塘坝减水量按年可蓄水能力及不同降雨年份蓄水比计算。

表 2 渭河流域治理度与减水减沙效益对比

年份 (年)	治理面 积占总 面积 (%)	治理面 积占流 失面积 (%)	有骨干工程效益		无骨干工程效益	
			减水 (%)	减沙 (%)	减水 (%)	减沙 (%)
1970~ 1990	13.4	19	28.71	30.9	2.38	4.41
近期	25.4	36	32.0~ 60.5	35.3~ 84.0	14.7~ 18.4	18.5~ 35.8
远景期	56.7	80.4	60 以上	80 以上	32.5~ 40.7	41.2~ 74.4

3. 灌溉引水引沙量计算。灌溉引水引沙量指直接从各河道引水、提灌水灌溉而不包括水库灌溉部分。对渠首有实测资料的灌溉区,分析中扣除了从灌区渠首退入河道的水量、沙量及灌区地下回归水;对无实测资料的灌区,则通过调查其历年实灌面积,不同降雨年份、不同季节、不同作物的灌水定额及河渠含沙量比,扣除地下回归水,综合分析计算,渭河全流域,中上游、下游近期和远景期遇不同降雨年份汛期及非汛期灌区减水减沙量。

通过以上综合计算分析,渭河流域近期及远景期水沙变化趋势和减水减沙效益,不同时期水土保持治理度与流域减水减沙效益对照如表 2。

#### 四、渭河流域近期水沙变化趋势及减水减沙效益分析

(一) 丰水年 该流域近期水利水保综合治理规划实施后,若遇丰水年降雨将使全流域减水效益在无骨干工程时增加到 14.7%,在有骨干工程时增加到 32.0%~44.1%,有骨干工程时的减水效益是无骨干工程减水效益的 1~3 倍,中上游在无治沟骨干工程时减水效益高于下游及全流域,中上游在有治沟骨干工程时其综合减水效益为 26.2%~41.6%,下游综合减水效益降低 50%左右,非汛期又成倍增长,如丰水年 1958 年,下游及全流域分别缺水 2.66 亿  $m^3$  和 1.61 亿  $m^3$ ,致使下游河道在非汛期时常断流,但有水库调节,丰水年灌溉缺水不太严重。

流域水利措施及治沟骨干工程的引沙淤沙量很大,使流域减沙效益从无治沟骨干工程的 18.5%~19.6%,增加到有治沟骨干工程的 35.3%~48.7%;中上游减沙效益在无治沟骨干工程时为 15.0%~25.4%,在有治沟骨干工程时为 24.5%~32.5%,与全流域减沙效益相接近;汛期减沙效益比全年有所降低,非汛期全流域泥沙得到基本控制。

(二) 平水年 流域若遇平水年降雨,全流域减水效益在无骨干工程时增加到 17.0%,在有骨

干工程时增加到 50%，有骨干工程时的减水效益是无骨干工程减水效益的 3 倍左右，中上游综合减水效益 22.8%~28.0%，下游综合减水效益 61.5%~64.2%，全流域及下游在非汛期分别因灌溉量大而有缺水现象发生，下游河道持续断流，其主要原因是下游灌溉用水量、综合减水效益高所造成。

全流域遇平水年降雨减沙效益在无骨干工程时增加到 23.6%~24.4%，在有骨干工程时增加到 46.0%~48.9%，上游无骨干工程减沙效益 18.4%~22.9%，有骨干工程减沙效益为 25.1%~29.5%；非汛期减沙效益比汛期高，全流域减沙效益比中上游高。减水效益比减沙效益增长幅度大，主要是骨干工程引水不引洪所致。

(三) 枯水年 流域若遇枯水年降雨，全流域减水效益在无骨干工程时增加到 18.4%，在有骨干工程时增加到 60%以上，有骨干工程时的减水效益是无骨干工程时减水效益的 3 倍以上，中上游减水效益在无骨干工程时增加到 16.8%，在有骨干工程时增加到 43.3%，下游减水效益在无骨干工程和有骨干工程时分别为 19.7%、66.8%以上。非汛期全流域及下游由于灌溉指数高分别出现缺水现象，因全年总降雨量偏少，使全流域近期水库的蓄水总容量有时还不够调节，致使全流域非汛期有断流现象，缺水严重，中上游在汛期有小股径流产生，下游只有汛期大暴雨季节有径流输出，全年长时期因引水灌溉而断流。但基流比过去枯水年有所提高。

全流域遇枯水年降雨减沙效益在无骨干工程时增加到 35.8%，有骨干工程时增加到 84.0%，其中上游减沙效益在无骨干工程和有骨干工程时分别增加到 17%、27.5%，全流域减沙效益比中上游减沙效益高得多，其主要原因是从中上游来水量看并不算枯水年所致，汛期小股径流输沙量很小，非汛期断流无沙，该年渭河流域可基本控制入黄泥沙。

渭河流域水土流失治理度是较低的，在近期，坡面减水可从现状的 2.38%，提高到 14.7%~18.4%，减沙效益从现状的 4.44%提高到 18.5%~35.8%。坡面减水减沙增强了治沟骨干工程的利用率，提高了工程措施的防洪能力并促使流域生态环境向良性发展，治沟骨干工程，将是该流域水沙趋势发生根本变化。除较大丰水年外，流域的综合治理使得该流域在非汛期有断流现象发生，出现不同程度的缺水，在汛期，坡面侵蚀及沟道冲刷大大降低，可控制流域入黄泥沙的 29.6%~83.5%，从丰、平、枯降雨年份的平均程度看，在近期渭河流域的入黄泥沙将减少 50%以上，洪峰流量和洪峰沙量得到不同程度的削减，基流有所增加。坡面措施减沙效益高于减水效益幅度，而水利措施及治沟骨干工程的减沙效益低于减水效益幅度，综合减沙效益略高于综合减水效益幅度，且流域坡面措施减水减沙效益不太明显，而流域综合治理减水减沙效益较高的原因，主要是流域水利措施及治沟骨干工程作用的结果，它与流域的实际情况是相吻合的，渭河流域人类生息起源早、人口密度大、林草植被低，是造成水土流失严重的主要原因。从流域近期综合治理规划看，仍然是以水利措施及治沟骨干工程为主，坡面措施以梯田为主。该流域在近期因灌溉用水量大，所出现的缺水断流问题与流域水资源普查结论相一致。

## 五、渭河流域远景期水沙变化趋势及减水减沙效益分析

(一) 减水效益及水量变化 无治沟骨干工程情况下，丰水年减水效益为 32.7%，平水年减水效益为 37.4%，枯水年减水效益为 40.7%。如考虑治沟骨干工程及水利措施的蓄水引水，渭河流域除丰水年、较大平水年，中上游不缺水外，整个非汛期及枯水年，流域缺水并有断流发生，只是下游比上游更严重一些。坡面及沟道下切侵蚀大幅度降低。流域内大部分水利措施使用效率比现状有所提高，由于坡面措施的拦蓄及灌溉作用，土壤含水率提高，空气湿度增大，洪峰流量得到基本控制，基流有所增加。

(二)减沙效益和沙量变化 在无治沟骨干工程情况下,丰水年减沙效益为42.2%,平水年减沙效益为52.3%,枯水年减沙效益为74.4%,减沙效益大于减水效益幅度,可使河道含沙量大幅度下降,枯水年河流输沙量很小。如考虑治沟骨干工程的减沙量,减沙效益在不同降雨年份均达到60%以上,可基本控制坡面及沟道下切侵蚀,使流域输沙量很小,流域泥沙基本得到控制,在汛期和大暴雨季节,由于水利措施及治沟骨干工程的作用,也可使坡面及沟道侵蚀明显减轻,河道输沙很小,大部分泥沙得到控制。全流域在非汛期和枯水年份,由于发生了程度有同的缺水断流问题,因而也无输沙量。

## 六、结论与讨论

1. 流域水沙变化趋势受多种因素的影响。我们这次主要考虑了渭河流域的治理现状、综合治理规划措施与不同降雨年份的组合,基本反映了该流域不同治理情况下,遇不同降雨年份时的水沙变化趋势。

2. 从预测的水沙变化趋势看,各种措施只要严格按照规划要求,坚持长期的综合治理,渭河流域严重的水土流失问题是能够大为缓解的,入黄泥沙也可大幅度减少。

3. 在远景期,坡面措施的减水效益将达到32.5%~40.7%,加上治沟骨干工程及水利措施的共同作用,在流域的局部(主要是下游)将出现程度不同的缺水断流问题,在近期平水年、枯水年的非汛期,也将出现同样问题,流域洪峰流量,洪峰沙量大大削减,土壤含水量和湿度增加,基流增加。对此,有关部门必须研究上游及省(区)之间的水资源分配和协调问题。

4. 从以上分析看,渭河流域综合治理减水减沙效益是显而易见的,发展前景是可观的,而且,水利水保措施在综合治理中是相辅相成的,水利措施比水保措施治理见效快而效益高,但利用期短,不能治本,且工程艰巨,造价高、投资大。水保措施虽然效益缓慢,但利用期长,生命力强,既减少了水利措施的泥沙淤积,延长了水利措施的寿命,又能控制土壤侵蚀,减少水土流失及土肥损失,因而,是治本的措施。显然,将水利水保措施合理配置进行流域综合治理,就会获得最理想的治理效果。

本文承蒙水利部黄委会农水局于一鸣高级工程师和本站熊维新工程师指导并提出宝贵意见,特表致谢。