

纸坊沟流域近 50 年水沙特性及其变化研究*

毛泽秦

(平凉市水土保持科学研究所, 甘肃 平凉 744000)

摘要: 为了深入探讨黄土高原沟壑地区小流域水沙运动的基本规律和特点, 采用平凉市纸坊沟流域 50 a 的降水、径流、泥沙观测资料和成果, 建立数据库, 采取数理统计、矩阵计算、分段对比、相关分析等方法对黄土高原沟壑区典型小流域纸坊沟流域的水沙特性及水土流失特点进行研究, 分析了流域降水、径流、泥沙基本特性及其变化特点, 特别是三者的变化趋势及其成因, 为相近小流域水沙分析和水土流失治理提供一些基础依据。本文从其研究成果中提炼出了纸坊沟流域的水沙特性及其变化趋势和变化成因, 以与广大水土保持工作者进一步探讨分析。

关键词: 小流域; 水沙特性; 变化趋势及成因

中图分类号: P333

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)03-0264-05

Characteristics of Rainfall and Silt and Its Changes during 50 Years in Zhifang Gully Small Watershed

MAO Ze-qin

(Pingliang Scientific Research Institute of Soil and Water Conservation, Pingliang, Gansu 744000, China)

Abstract: Taking the Zhifang gully small watersheds as an example, this paper aims to further deeply study the basic regulations and characteristics on runoff and silt in some small watersheds in Loess plateau area on the basis of observed data of 50 years of precipitation, runoff and silt as well as research achievement, by ways of database establishment, analysis, calculation, partly comparing and related analysis, particularly in change tendency and its reason among precipitation, runoff and silt. We hope that the results can be used as basic reference to runoff and silt analysis and soil loss control, and also to be shared with our colleagues.

Key words: small watershed; characteristics of rainfall and silt; change tendency and its reasons

水土流失是造成山地和丘陵沟壑区土地贫瘠、河谷淤积洪水泛滥、农业生产低而不稳、经济社会发展缓慢的重大自然灾害之一。尤其干旱半干旱的黄土高原沟壑地区更是严重。而地处西北黄土高原沟壑区的典型小流域平凉市纸坊沟流域从 1955 年起, 进行了连续 50 a 的降水、径流和泥沙观测, 存有大量的实测资料和成果。利用这些资料和成果作为基础数据来分析研究小流域的水沙运动基本规律、基本特性及其变化趋势、水土流失主要影响因素及其相关关系等, 以为进一步认识全球气候不断变化情况下黄土高原沟壑区小流域水沙特性及其变化趋势与水土流失特点, 为水土流失治理提供一些基础依据。下面着重介绍纸坊沟流域的水沙特性及其变化分析研究情况与研究结果。

1 研究区概况

纸坊沟流域位于甘肃省平凉市城南, 地理坐标为东经 $106^{\circ}37' - 106^{\circ}42'$ 、北纬 $35^{\circ}26' - 35^{\circ}33'$, 属泾河干流一级支沟, 是陇东黄土高原沟壑区的典型代表区, 也是黄河流域最早确立的重点治理小流域之一, 地形地貌为黄土高原残塬沟壑区, 地表地层为第四纪全新世黄土层, 沟谷地带为第四纪上新世红黏土。流域上游源于六盘山-太统山脉的虎狼山, 下游横穿平凉东城区入泾河干流, 流域总面积 18.98 km^2 , 海拔高程 $1365.0 \sim 2104.0 \text{ m}$, 相对高差 739.8 m , 主沟道长 15.77 km , 沟道平均坡降 4.34% , 沟道密度 3.02 km/km^2 。流域多年平均气温 8.8°C 、年降水量 548.7 mm 、年蒸发量 1499.2

* 收稿日期: 2009-11-19

基金项目: 甘肃省水利科研项目“平凉市纸坊沟流域水沙特性及水土流失特点研究”

作者简介: 毛泽秦(1962-), 男, 研究生, 高级工程师, 从事生态环境与水土保持研究工作。E-mail: gsplmzq@163.com

mm、年日照时数 2 381 h。流域总土地面积 1 898 hm², 其中耕地面积 905. 6 hm² (梯条田 718. 8 hm², 山坡地 120. 6 hm², 沟坝地 56. 28 hm²), 疏林草地面积 217. 4 hm², 林地面积 280. 6 hm², 草地面积 175. 1 hm², 荒山荒坡面积 144. 6 hm², 居民住宅及其它用地面积 174. 7hm²。流域水土流失面积 1 500 hm², 占总面积的 79%, 水土流失严重, 但经过半个多世纪的不间断治理, 流域水土流失面积已治理1 221 hm², 治理程度已达 81. 4%, 植被覆盖率达35. 5%。

2 研究方法 with 数据来源

流域水沙特性分析采用数理统计和矩阵计算方法进行, 变化趋势分析采用分段对比法进行。即运用整编成的 1955– 2004 年气象水文观测资料分项目、分区域建立数据库, 用数理统计法计算分析流域降水、径流、泥沙的基本特征值, 并分析其特性, 再用

分段对比法分析其变化趋势。
研究数据取用连续观测时间较长的纸坊沟流域一坝、二坝、何家庄 3 个水文站和陈家庄、马家新庄、石窑硷 3 个雨量点降水、径流、洪水、泥沙观测资料。

3 水沙特性分析

3. 1 降水特性

3. 1. 1 年、月降水特征值

(1) 年降水量。由纸坊沟流域一坝、二坝及马家新庄、石窑硷 4 个雨量站点 1955– 2004 年 50 a 系列资料和各站点控制面积, 用泰森多边形法和数理统计法统计分析出, 流域多年平均降水量 548. 7 mm, 年最大降水量 867 mm(1975 年), 年最小降水量 328. 1 mm(1995 年), 多年中一次最大降水量 138. 3 mm(1996 年 7 月 26 日), 最大降水强度 3. 1 mm/ min(1985 年 8 月 14 日)。各年降水量见表 1。

表 1 纸坊沟流域 1955– 2004 年年降水量、径流量及输沙量

年份	年降水量/mm	年径流量/万 m ³	年输沙量/万 t	年份	年降水量/mm	年径流量/万 m ³	年输沙量/万 t	年份	年降水量/mm	年径流量/万 m ³	年输沙量/万 t
1955	573. 7	120. 900	–	1972	431. 4	93. 800	14. 950	1989	516. 6	27. 895	4. 923
1956	555. 8	117. 500	–	1973	613. 7	128. 600	15. 545	1990	754. 2	71. 589	7. 287
1957	553. 6	117. 100	–	1974	503. 3	73. 089	8. 309	1991	362. 8	15. 389	4. 568
1958	497. 5	106. 400	–	1975	867. 0	246. 863	22. 802	1992	578. 5	28. 450	6. 041
1959	569. 1	118. 456	26. 483	1976	638. 0	196. 748	16. 359	1993	510. 0	23. 566	5. 398
1960	423. 7	92. 300	19. 276	1977	674. 1	53. 298	9. 978	1994	457. 4	27. 449	4. 618
1961	743. 5	153. 300	20. 623	1978	498. 1	58. 810	15. 251	1995	328. 1	12. 106	4. 973
1962	501. 0	77. 155	18. 716	1979	590. 3	67. 141	13. 097	1996	618. 7	118. 311	42. 323
1963	483. 5	56. 536	13. 268	1980	560. 5	60. 101	16. 453	1997	359. 2	14. 516	4. 514
1964	827. 9	192. 857	18. 451	1981	659. 1	135. 237	24. 474	1998	574. 5	38. 200	–
1965	509. 7	30. 178	10. 413	1982	392. 6	21. 965	10. 687	1999	608. 6	50. 124	–
1966	690. 0	206. 062	24. 488	1983	722. 8	157. 339	16. 937	2000	424. 5	9. 668	–
1967	619. 3	162. 750	12. 292	1984	583. 2	128. 297	9. 250	2001	567. 3	28. 368	–
1968	622. 6	214. 466	33. 047	1985	536. 0	103. 904	11. 076	2002	529. 8	21. 055	–
1969	442. 5	64. 867	21. 026	1986	389. 8	16. 499	5. 848	2003	669. 4	–	–
1970	589. 5	123. 900	15. 473	1987	523. 9	19. 909	5. 765	2004	415. 7	–	–
1971	331. 9	74. 800	14. 651	1988	431. 4	10. 550	3. 668	多年平均	548. 7	85. 174	14. 182

(2) 多年平均月降水量及分配比例。将流域多年各月降水量逐年累加后除以观测总年份得出多年平均月降水量, 再用多年平均各月降水量除以多年平均年降水量得出流域多年平均月降水量分配比例, 分析结果见表 2。

(3) 年降水量统计指标值。由流域 50 a 降水量值和数理统计法分析出的纸坊沟流域年降水量 5 项统计指标值见表 3。

(4) 降水量空间分布状况。从流域 6 处雨量站点多年平均降水量对比分析出的流域各雨量站点多年平均降水量空间分布状况及与海拔关系见表 4。

3. 1. 2 降水特性 根据分析研究, 纸坊沟流域多年平均年降水量 548. 7 mm, 是全国平均年降水量的 32. 1%, 是流域所在的泾河流域平均年降水量的 84. 9%; 流域 50 a 降水量系列资料中, 丰水年与干旱年年降水量相差近 2 倍, 均方差达 120. 3, 平均离差系数达 22%, 偏差值在 ±5% 范围内的只有 10 a, 占总年数的 20%, 在 ±10% 范围内的有 21 a, 占总年数的 42%, 在 ±10% 以外的年份占到近 60%, 总体偏差系数为 0. 36; 流域多年平均年降水量绝大部分分布在 4– 10 月, 降水量 477. 6 mm, 占全年降水量的 87%, 降雨最为集中的是 6– 9 月, 降水量 388. 3

mm, 占年降水量的 70.7%, 7 月为峰顶, 降水量 120.3 mm, 降水量占到全年的 21.9%; 流域降水量 11 a 有一个周期, 4 a 有一个小周期, 连续出现干旱年周期为 6 a 左右, 连续出现丰水年的周期亦为 6 a 左右; 流域从北向南降水量随海拔高程的增加而增加, 降水量与垂直高度呈正相关关系; 流域每 10 a 平均年降水量减少 2.2%~7.3%, 平均年减少 0.3%, 降水量呈逐年减少趋势。

表 2 纸坊沟流域多年平均月降水量及分配比例

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
降水量/mm	4.6	5.2	15.8	30.2	48.9	67.4	120.5	110.5	89.7	40.2	12.4	3.3	548.7
占全年/%	0.8	0.9	2.9	5.5	8.9	12.3	22.0	20.1	16.3	7.3	2.3	0.6	100.0

表 3 纸坊沟流域年降水量统计指标值

指标名称	多年平均值 \bar{H}/mm	全距(最大变幅差) 值 R/mm	均方差	变差系数 C_v	偏差系数 C_s
计算式	$\sum H_i/n$	$H_{\max}-H_{\min}$	$[\sum(H_i-\bar{H})^2/n]^{1/2}$	σ/\bar{H}	$\sum(\bar{H}_i-\bar{H})^3/n\sigma^3$
指标值	548.7	538.9	120.3	0.22	0.36

表 4 纸坊沟流域降水量空间分布状况比较

测站及流域位置	一坝(北部)	何家庄(北部)	二坝(中部)	陈家庄(东南部)	马家新庄(西南部)	石窑硷(南部)
海拔高程/m	1380.0	1420.0	1482.0	1525.0	1675.0	1700.0
年均降水量/mm	516.4	527.6	529.3	540.1	591.6	663.1

3.2 地表径流特性

3.2.1 年、月径流特征值

(1) 年径流量。由流域一坝水文站 1955–2002 年 48 a 实测径流系列资料和面积比拟法推算得出全流域各年年径流量, 再由此分析得出流域多年平均年径流量 85.174 万 m³、平均流量 0.027 m³/s, 最大年径流量 246.86 万 m³、流量 0.078 m³/s(1995 年), 最小年径流量 9.69 万 m³、流量 0.003 m³/s(2000 年)。各年径流量见表 1。

表 5 纸坊沟流域多年平均月径流量及分配比例

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
径流量/万 m ³	0.089	0.916	2.530	3.358	4.532	4.447	17.034	16.188	18.398	11.315	5.402	0.965	85.174
占全年/%	0.1	1.1	3.0	3.9	5.3	5.2	20.0	19.0	21.6	13.3	6.3	1.1	100.0

表 6 纸坊沟流域年径流量统计指标值

指 标	多年平均值	全距值	均方差	变差系数	偏差系数	径流深	径流系数	径流模数 $M/$
名 称	$\bar{W}/\text{万 m}^3$	$R/\text{万 m}^3$	σ	C_v	C_s	Y/mm	α	(万 m ³ ·km ⁻²)
计算式	$\sum W_i/n$	$W_{\max}-W_{\min}$	$[\sum(W_i-\bar{W})^2/n]^{1/2}$	σ/\bar{W}	$\sum(W_i-\bar{W})^3/n\sigma^3$	$\bar{W}/1000F$	Y/\bar{H}	\bar{W}/F
指标值	85.174	237.195	61.724	0.72	0.73	44.9	0.082	4.488

3.2.2 地表径流特性 根据分析研究, 纸坊沟流域多年平均年径流量 85.174 万 m³、平均流量 0.027 m³/s、径流模数 4.488 万 m³/km², 平均径流模数是流域所在泾河流域的 81.2%, 是黄河流域的 67%; 流域 48 a 径流量系列资料中, 丰水年和枯水年年径流量相差 24.5 倍, 均方差达 61.724, 平均离差系数达 72%, 偏差值在±5% 范围内的只有 2 a, 占总年数的 4.2%, 在±10 范围内的有 3 a, 占总年数的 6.3%, 在±10% 以外的占 96.7%; 流域多年平均年

(2) 多年平均月径流量及分配比例。将流域多年各月径流量逐年累加后除以观测总年份得出多年平均月径流量, 再用多年平均各月径流量除以多年平均年径流量得出流域多年平均月径流量分配比例, 分析结果见表 5。

(3) 径流量统计指标值。由流域 48 a 年径流量值和数理统计法分析出的纸坊沟流域年径流量 8 项统计指标值见表 6。

径流量大部分分布在 5–10 月, 径流量为 71.8 万 m³, 占年径流量的 84.3%, 6–9 月汛期径流量达 56 万 m³, 占年径流量的 65.7%, 而且径流量最大的 9 月达 18.4 万 m³, 占了全年径流量的 1/5 多; 流域地表径流的年际变化 11 a 为一个周期, 连续出现枯水年的周期为 6 a 左右, 连续出现丰水年的周期亦为 6 a 左右; 流域地表年径流量与降水量的 \bar{Q} 、 C_v 、 C_s 等统计指标值很接近, 基本特征几乎与降水量一致, 说明纸坊沟流域地表径流是由雨水补给并随其变化而

变化的;在同一周期中径流量峰值推后于降水量峰值一个时段,虽然周期长短相同,但峰顶与峰谷来临时段上有差异,充分反映出地表径流有一个形成过程;流域每 10 a 平均年径流量减少 10.7%~41.4%,总体减少了 68.1%,平均年减少 1.7%,径流量减少幅度大。

3.3 泥沙特性

3.3.1 流域泥沙构成 根据多年的系列资料分析,纸坊沟流域泥沙主要是以悬移质形式夹杂在径流中流出,推移质形式的输沙除上游沟垅有少量外,其它地方尤其是中下游很少。所以,整理分析的流域河流悬移质输沙量即为流域河流泥沙输出量。

3.3.2 年、月输沙特征值

(1)年输沙量。用纸坊沟流域 1959–1997 年 39 a 的年输沙量系列资料和数理统计法分析出,流域河流多年平均年输沙量 14.182 万 t,最大年输沙量

表 7 纸坊沟流域多年平均月输沙量及分配比例

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
输沙量/万 t	0	0.029	0.354	0.515	0.672	1.610	4.715	3.530	2.033	0.573	0.132	0.020	14.182
占全年/%	0	0.2	2.5	3.6	4.7	11.4	33.2	24.9	14.3	4.0	1.9	0.1	100.0

表 8 纸坊沟流域年输沙量统计指标值

指标名称	多年平均值 $\bar{W}_s/\text{万 t}$	全距值 $R/\text{万 t}$	均方差 σ	变差系数 C_v	偏差系数 C_s	年平均侵蚀模数 $\bar{W}_s/$ ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	年平均侵蚀深度 R/mm	年均输沙率 $\rho/(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$
计算式	$\sum W_{si}/n$	$W_{S\max} - W_{S\min}$	$[\sum (W_{si} - \bar{W}_s)^2/n]^{1/2}$	σ/\bar{W}_s	$\sum (W_{si} - \bar{W}_s)^3/n\sigma^3$	\bar{W}_s/F	$\bar{W}_s/1000r_s$	$\bar{W}_s/3.154$
指标值	14.182	38.655	8.43	0.59	1.14	7472	5.6	4.492

3.3.4 泥沙特性 根据分析研究,纸坊沟流域河流多年平均年输沙量 14.182 万 t、输沙率 4.492 kg/s,平均每 1 m³ 径流输沙量 166.5 kg,是流域所在泾河流域的 1.25 倍;流域 39 a 年输沙量系列资料中,最大与最小年输沙量相差 11 倍多,均方差达 8.43,平均离差系数达 59%,偏差值在 ±5% 范围内的只有 1 a,占总年数的 2.6%,在 ±10% 范围内的有 7 a,占总数的 17.9%,在 ±10% 以外的占 82.1%;流域多年平均年输沙量大部分在 5–10 月,输沙量为 13.138 万 t,占年输沙量的 92.6%,6–9 月的汛期输沙量达 11.895 万 t,占年输沙量的 83.9%,输沙量最大的 7 月达 4.723 万 t,占到全年输沙量的 33.3%;流域输沙量的年际变化 11 a 为一个周期,连续出现侵蚀量和泥沙量较小的周期为 6 a 左右,连续出现侵蚀量和泥沙量较大的周期亦为 6 a 左右;流域年输沙量与年径流量的 C_v 、 C_s 等统计指标值很接近,多年平均年输沙量的月分布过程线与年径流量月分布过程线几乎一致,说明流域地表径流与河流输沙量关系紧密,径流量大则土壤侵蚀大、泥沙量

42.323 万 t(1996 年),最小年输沙量 3.688 万 t(1988 年)。分析统计出的流域 1959–1997 年年输沙量见表 1。

(2)多年平均月输沙量及分配比例。将流域多年各月输沙量逐年累加后除以观测总年份得出多年平均月输沙量,再用多年平均各月输沙量除以多年平均年输沙量得出流域多年平均月输沙量分配比例。分析结果见表 7。

(3)年输沙量统计指标值。由流域 39 a 年输沙量和数理统计法分析出的纸坊沟流域年输沙量 8 项统计指标值见表 8。

3.3.3 流域土壤侵蚀模数 因为流域泥沙输出量即为河流输沙量。所以用流域 1959–1997 年 39 a 的年输沙量除以流域面积,得出流域各年土壤侵蚀模数,再用各年土壤侵蚀模数累加值除以总年数得出流域多年平均土壤侵蚀模数为 7 472 t/(km²·a)。

大,径流量小则土壤侵蚀小、泥沙量小;流域每 10 a 平均输沙量减少 8.6%~25.50%,累计减少 47.9%,平均每年减少 1.9%,泥沙输出量减少幅度也大。

4 水沙变化趋势及其成因分析

4.1 水沙变化趋势

从前述水沙特性分析知,纸坊沟流域降水量、地表径流量和泥沙输出量总体上呈逐年减少的趋势,并且减少幅度不断加大。流域年降水量平均每年减少 0.3%,最大时期年减少 0.73%,最小时期年减少 0.22%;年径流量平均每年减少 1.7%,最大时期年减少 4.14%,最小时期年减少 1.07%;流域年输沙量平均每年减少 1.9%,最大时期年减少 2.55%,最小时期年减少 0.86%。三者比较,降水量逐年减少幅度较小,而径流量和泥沙量逐年减少幅度较大,特别是后期越来越少。

4.2 变化成因

运用流域水沙特征值和相关关系分析法分析研

究, 纸坊沟流域降水量、地表径流量和泥沙输出量逐年减少的成因主要有以下三方面:

(1) 随着气候逐渐变暖而降水量逐年减少。这主要是气候环境变化引起的。

(2) 降水量减少引起地表径流量和泥沙输出量减少。纸坊沟流域地处黄土高原沟壑区的残塬沟壑带, 沟道地表径流无地下径流和侧向水流补给, 主要由天然降水补给, 所以, 地表径流量大小的变化随着天然降水量多少的变化而变化。由于同期年降水量逐年减少, 则流域地表径流量随之减少。按其观测数据分析, 降水量的减少对同期流域地表径流量减少的影响程度达 8.8%。又因水力侵蚀是流域土壤侵蚀的主要形式, 河流泥沙主要是由天然降水产生的地表径流冲刷侵蚀地面土壤而形成, 所以, 河流泥沙输出量大小的变化随着地表径流量多少的变化而变化。由于同期地表径流量逐年减少, 则流域河流输沙量随之减少。按其观测数据分析, 地表径流量的减少对同期河流泥沙量减少的影响程度为 33.3%。

(3) 流域植被覆盖度和治理度的提高使地表径流量和泥沙输出量减少。根据地表径流产汇流原理, 流域下垫面的质地是影响降水形成径流和径流冲刷产生泥沙的主要因素之一。纸坊沟流域设立观测站前, 植被稀疏, 梁峁沟台几乎为自然坡状, 坡谷面拦截渗漏地表径流、防止地面冲刷侵蚀的能力差, 降水容易形成地表径流, 降水形成的地表径流大, 土壤侵蚀流失量也就大。而经过半个多世纪的不间断治理, 人工植树 280.6 hm², 人工种草 175.1 hm², 修造梯田 718.8 hm², 并修筑水平沟、鱼鳞坑、水簸箕、涝池、水窖、沟道谷坊、截水堰、小型水库、淤地坝等多处, 使流域植被覆盖度达到了 35.5%, 流域治理程度达到了 81.4%, 流域治理度平均每年提高 3.1%, 种植的林草特别是修筑的坡地梯田改变了流域沟坡地貌, 大大提高了坡谷面拦截滞蓄地表径流和抗冲刷侵蚀的能力, 减少了地表径流的产流量和土壤侵蚀流失量, 从而使地表径流量和河流泥沙量减少。

按其观测数据分析, 流域治理度的提高对同流域地表径流量减少的影响程度达 91.2%, 对河流泥沙量减少的影响程度达 60.8%。

5 结 论

通过对纸坊沟流域近 50 a 的水沙实测资料的分析研究, 地处黄土高原沟壑区的纸坊沟小流域降水量少, 降水量年际变化幅度大、稳定性差, 年内分配不均、峰值单一凸显, 年际周期性规律明显, 空间分布上南多北少, 时间分布上逐年呈减少趋势; 流域径流量小, 径流量年际变化幅度很大、稳定性极差, 年内分配不均且差值大, 年径流量周期性规律明显, 和降水关系密切但径流量峰值推后于降水量峰值, 径流量逐年减少幅度大; 流域河流输沙量较大、输沙率较高, 土壤侵蚀及输沙量年际变幅大、稳定性极差, 输沙量年内分配不均且差值大, 输沙量年际周期性规律明显, 和地表径流关系密切, 输沙量逐年减少幅度也较大。

分析研究得出, 纸坊沟小流域的降水、径流、泥沙均呈逐年减少的趋势, 而且径流泥沙减少的幅度越来越大。引起这些变化的原因除了全球大气环境变化影响, 主要是流域植被覆盖度和治理度的提高使地表径流量和泥沙输出量大幅减少。所以, 提高流域植被覆盖率和加强流域治理是解决黄土高原地区水土流失问题的根本途径。

研究结果与陕西延安的纸坊沟、长武、淳化等处的小流域水沙特性比较, 年月季特征及特性基本一致, 但变化趋势和幅度纸坊沟流域要明显得多, 显示出本流域的独有特点。

参考文献:

- [1] 巩鸿有. 纸坊沟流域降雨量与径流初谈[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1986.
- [2] 吴发启, 赵晓光, 刘秉正. 缓坡耕地侵蚀环境及动力机制分析[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2001.
- [3] 冉大川. 黄河中游河口至龙门区间水土保持与水沙变化[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000.