

黄土高原沟道降雨产流产沙过程 变化的统计分析

王万忠 焦菊英

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘要 根据子洲团山沟、蛇家沟、刘家沟、岔巴沟等4个不同等级沟道1963~1969年30多次降雨的产流产沙实测资料,统计分析了黄土高原沟道降雨产流产沙过程变化的基本特征。

关键词 沟道 产流产沙 过程变化

Statistic Analysis on Process of Gully Runoff and Sediment Yield Under Different Rain Pattern in Loess Plateau Region

Wang Wanzhong Jiao Juying

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling District, Xianyang Municipality, Shaanxi Province)

Abstract Based on the observed data of runoff—sediment yield under more than 30 times individual rainfalls at about 4 different grade gullies (Tuanshangou, Shejiagou, Liujiagou, Chabagou etc.) in 1963~1969, the basic features of the rainfall and gully runoff-sediment yield process in loess plateau region are statistically analyzed.

Keywords gully; runoff and sediment yield; process variation

对黄土高原沟道降雨产流过程变化的分析研究是沟道产流产沙预报的一个十分重要的基础性工作。这里我们选用子洲团山沟(毛沟, 0.18km²)、蛇家沟(小支沟, 4.26km²)、刘家沟(支沟, 21.0km²)、岔巴沟(干沟, 187km²)4个不同等级沟道的30多次降雨产流产沙过程变化资料,分析沟道产流产沙过程变化中洪峰和沙峰出现时间的对应关系,沙峰和洪峰出现时含沙量与流量的特征以及沟道洪水过程的基本特点。各沟道主要产流降雨洪峰、沙峰出现时间及含沙量与流量的特征见表1~表4,图1~图2。

1 沙峰和洪峰出现时间的对应关系

从4个沟道洪峰和沙峰的出现时间看,(1)沙峰滞后于洪峰的:团山沟有27次,占44次降雨产流的61.4%;蛇家沟有14次,占27次降雨产流的51.8%;刘家沟有13次,占23次降雨

表1 团山沟主要产流降雨最大流量、最大含沙量及出现时间

日期 年、月、日	最大流量				最大含沙量			
	出现时间	距产流 开始时间	流量	含沙量	出现时间	距产流 开始时间	流量	含沙量
	(时、分)	(min)	(m ³ /s)	(kg/m ³)	(时、分)	(min)	(m ³ /s)	(kg/m ³)
19630603	16:13	13	0.077	298	16:25	25	0.025	757
19630615	20:59	19	0.977	874	20:59	19	0.977	874
19630826	19:59	49	0.682	845	19:56	47	0.675	858
19630828	21:32	58	0.561	689	21:22	48	0.536	693
19640705	1:02	629	0.990	814	1:02	629	0.990	814
19640714	22:43	10	0.758	649	22:43	10	0.758	649
19640721	3:46	226	0.036	104	4:01	241	0.016	232
19640802	14:53	11	4.420	769	14:53	11	4.420	769
19640823	21:46	8	0.796	616	21:50	12	0.210	717
19640911	23:57	281	0.704	653	23:54	278	0.430	672
19660617	14:28	4	0.012	219	14:28	4	0.012	219
19660626	16:45	18	4.270	893	16:47	20	1.220	923
19660627	15:25	82	5.400	711	15:27	84	4.250	864
19660717	20:20	436	2.360	689	20:26	442	0.125	832
19660808	7:36	9	1.020	750	7:37	10	0.790	779
19660814	16:35	9	0.447	480	16:37	11	0.217	654
19660815	19:17	405	6.970	836	19:19	407	5.410	841
19660828	19:15	9	0.687	698	19:21	15	0.372	853
19680711	16:09	15	0.081	405	16:09	15	0.081	405
19670717	16:27	37	0.054	336	16:29	39	0.035	373
19670810	13:48	120	0.067	314	13:51	123	0.036	321
19670819	22:27	12	0.382	986	22:27	12	0.382	986
19670821	19:55	13	0.115	253	19:58	16	0.084	315
19670822	2:52	15	0.884	872	2:52	15	0.884	872
19670825	0:18	18	0.350	761	0:24	24	0.114	803
19670826	15:52	38	2.020	860	15:57	43	0.974	898
19670831	23:29	18	0.076	343	23:33	22	0.026	646
19670913	17:30	15	0.023	202	17:35	20	0.010	442
19680613	13:07	3	0.019	179	13:14	10	0.007	473
19680715	19:51	11	8.370	921	19:50	10	6.290	963
19680718	18:46	6	0.083	386	18:46	6	0.083	386
19680719	14:02	8	0.099	289	14:10	16	0.055	477
19680725	18:50	9	2.030	602	18:52	11	1.470	854
19680813	10:17	11	0.209	553	10:22	16	0.059	600
19680822	0:38	12	0.248	531	0:44	18	0.144	551
19680903	18:21	11	0.050	351	18:27	17	0.024	394
19690511	16:33	21	6.240	1030	16:33	21	6.240	1030
19690616	15:18	8	0.125	622	15:18	8	0.125	622
19690714	17:37	6	0.243	409	17:41	10	0.145	538
19690720	17:44	6	0.402	470	18:05	27	0.025	702
19690726	19:08	111	2.050	856	19:10	113	1.090	1030
19690809	23:31	193	0.276	626	23:31	193	0.276	626
19690820	21:45	38	0.071	349	21:54	47	0.016	471
19690901	19:21	12	0.055	313	19:21	12	0.055	313
平均		69.2	1.268	577.4		72.2	0.913	661.2

产流的 56.5%；岔巴沟有 18 次，占 31 次降雨产流的 58.0%。因此，从总体情况看，在沟道小流域的降雨产流中，沙峰滞后于洪峰的发生机率占 50%~60%；(2)沙峰和洪峰同时出现的：团山沟有 13 次，蛇家沟有 10 次，刘家沟有 9 次，岔巴沟有 7 次，分别占各自降雨产流总次数的 29.5%，37.0%，39.1%，22.6%。因此，在沟道的降雨产流中，沙峰和洪峰同时出现的发生机率可占 20%—40%；(3)沙峰超前于洪峰的：团山沟有 4 次，蛇家沟有 3 次，刘家沟 1 次，岔巴沟 6 次，分别占各自降雨产流总次数的 9.1%，11.1%，4.3%，19.3%。从总体情况看，在沟道的降雨产流中，沙峰超前于洪峰的一般占 10%左右。

表 2 蛇家沟主要产流降雨最大流量、最大含沙量及出现时间

日 期 年、月、日	最大流量				最大含沙量			
	出现时间	距产流 开始时间	流量	含沙量	出现时间	距产流 开始时间	流量	含沙量
	(时、分)	(min)	(m ³ /s)	(kg/m ³)	(时、分)	(min)	(m ³ /s)	(kg/m ³)
19630523	11:27	457	0.252	57.8	7:00	190	0.107	201
19630603	16:48	48	2.330	837	16:50	50	2.140	846
19630615	20:58	58	3.930	650	21:10	70	1.730	681
19630826	20:18	48	2.500	672	20:25	55	2.360	743
19630828	21:42	102	6.530	703	21:48	108	3.380	743
19640705	1:12	312	28.500	819	1:24	324	14.600	842
19640714	22:54	54	24.000	934	22:54	54	24.000	934
19640802	14:59	23	30.700	664	15:12	36	9.230	733
19640823	21:51	21	1.770	412	22:00	30	0.521	578
19640911	0:03	243	6.780	632	0:03	243	6.780	632
19670711	16:28	28	4.930	423	16:54	54	0.682	809
19670717	16:30	40	3.250	602	16:30	40	3.250	602
19670819	22:36	18	1.330	622	22:36	18	1.330	622
19670821	20:00	42	0.674	208	20:00	42	0.674	208
19670822	3:06	16	6.620	768	2:57	7	4.920	779
19670826	16:00	42	27.600	689	16:24	66	4.000	711
19670829	13:24	180	3.050	751	13:24	180	3.050	751
19680715	19:54	18	95.000	761	20:00	24	64.200	953
19680718	19:00	18	9.470	670	19:03	21	6.050	794
19680725	19:12	32	8.090	530	19:30	50	3.880	733
19680813	10:28	28	6.000	556	10:36	36	3.880	650
19680822	0:54	36	19.500	587	0:54	36	19.500	587
19690511	16:33	33	75.000	775	16:36	36	75.000	890
19690714	17:46	16	14.000	750	17:46	16	14.000	750
19690726	19:20	122	10.900	700	19:20	122	10.900	700
19690809	17:15	39	3.630	719	17:12	36	3.050	761
19690820	21:42	102	7.770	681	21:42	102	7.770	681
平均		80.6	14.967	636.0		75.8	10.777	700.5

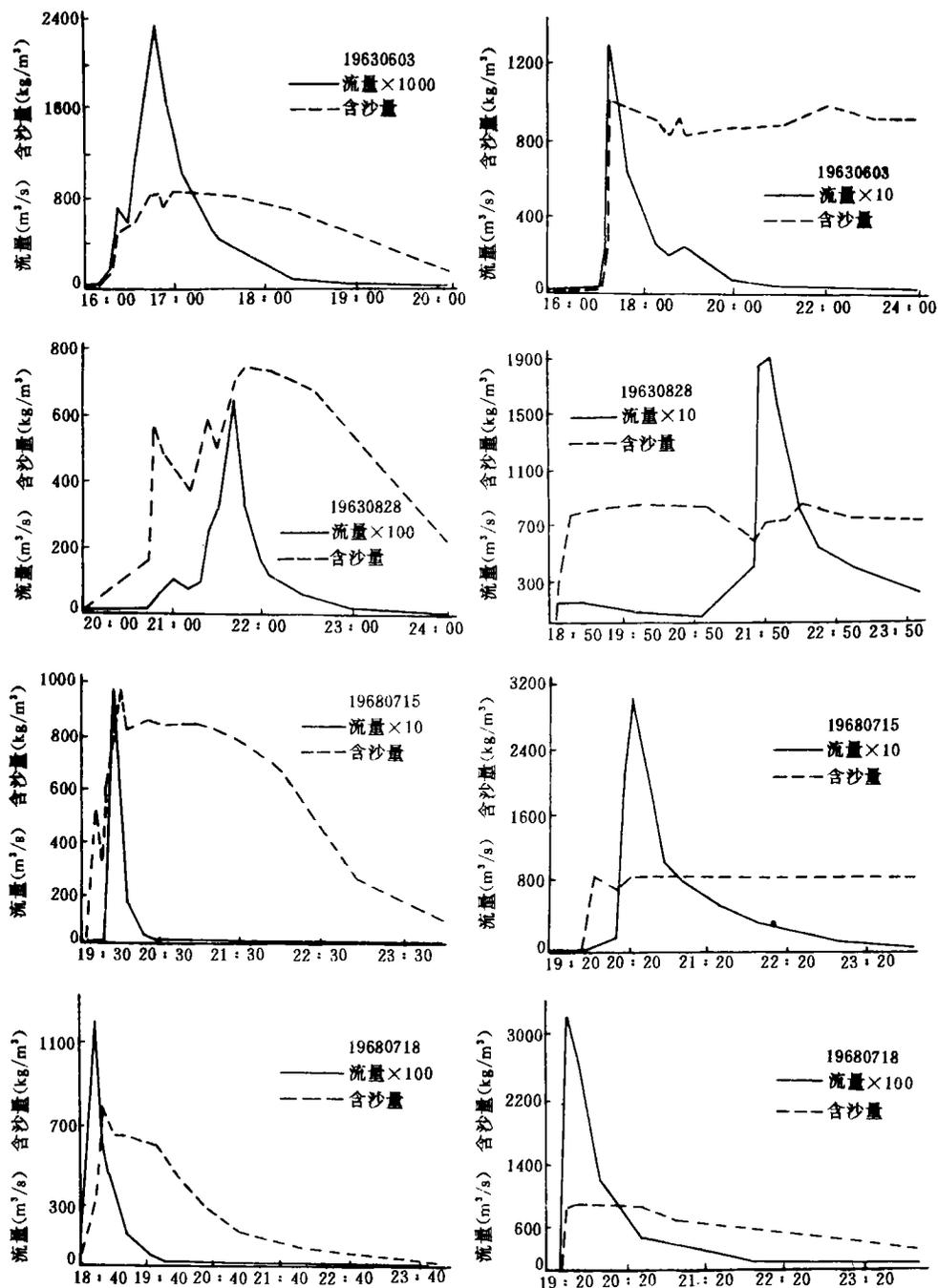


图 1 子洲蛇家沟四次产流降雨流量与含沙量的过程变化

图 2 子洲岔巴沟四次产流降雨流量与含沙量的过程变化

表 3 刘家沟主要产流降雨最大流量、最大含沙量及出现时间

日期 年、月、日	最大流量				最大含沙量			
	出现时间	距产流 开始时间	流量	含沙量	出现时间	距产流 开始时间	流量	含沙量
	(时、分)	(min)	(m ³ /s)	(kg/m ³)	(时、分)	(min)	(m ³ /s)	(kg/m ³)
19630523	11:24	444	3.550	487	12:00	480	1.250	784
19630603	16:47	53	43.000	919	17:30	96	8.280	945
19630626	20:00	60	61.000	776	20:06	66	46.500	895
19630828	21:21	70	50.000	746	21:04	64	46.500	756
19640617	18:24	54	6.790	674	18:27	57	6.260	746
19640714	23:09	39	25.200	993	23:09	39	25.200	993
19640716	17:30	6	4.000	594	17:30	6	4.000	594
19640721	4:00	120	1.830	210	4:30	150	0.870	235
19640802	15:30	60	8.830	935	15:30	60	8.830	935
19640911	23:51	231	16.800	419	20:57	237	13.600	603
19640823	21:48	6	0.074	18	24:00	196	0.125	55.1
19640705	23:00	330	33.400	857	23:00	330	33.400	857
19670717	16:18	18	73.000	869	16:30	40	33.000	919
19670822	3:24	84	10.300	628	3:24	84	10.300	628
19670826	16:15	75	32.200	664	16:84	108	7.600	846
19680715	19:54	24	56.500	803	21:00	90	2.140	874
19680811	13:18	78	11.500	817	13:18	78	11.500	817
19680813	15:51	231	35.900	873	15:51	231	35.900	873
19680822	0:42	42	140.000	712	0:54	54	82.000	753
19690511	16:24	24	138.000	797	16:45	45	59.700	842
19690512	2:36	156	25.300	618	2:40	162	18.000	646
19690708	19:42	168	35.000	771	19:42	168	35.000	771
19690820	21:36	96	36.000	595	21:36	96	36.000	595
平均		107.3	36.877	685.9		127.7	22.868	737.5

2 沙峰和洪峰出现时的含沙量特征

从沙峰和洪峰出现时的含沙量看,团山沟 44 次降雨产流的最大含沙量平均为 661.2 kg/m³,最大流量出现时的含沙量平均为 577.4kg/m³,比最大含沙量偏小 12.7%;蛇家沟 27 次降雨产流的最大含沙量平均为 700.5kg/m³,最大流量出现时的含沙量平均为 636.0kg/m³,比最大含沙量偏小 9.2%;刘家沟 23 次降雨产流的最大含沙量平均为 737.5kg/m³,最大流量出现时的含沙量平均为 685.9kg/m³,比最大含沙量偏小 7.0%;岔巴沟 31 次降雨产流的最大含沙量平均为 792.3kg/m³,最大流量出现时的含沙量平均为 686.8kg/m³,比最大含沙量偏小 13.3%;总体上最大流量出现时的含沙量较最大含沙量偏小 10%左右。从洪峰和沙峰出现时间的对应关系看,当沙峰和洪峰同时出现时,最大流量出现时的含沙量即为最大含沙量,当沙峰滞后于洪峰时,最大流量出现时的含沙量较最大含沙量偏小 10%~20%(团山沟偏小

20.8%,蛇家沟偏小14.4%,刘家沟偏小12.9%,岔巴沟偏小18.8%);当沙峰超前于洪峰时,最大流量出现时的含沙量较最大含沙量偏小5%~10%(团山沟偏小2.5%,蛇家沟偏小11.3%,刘家沟偏小1.3%,岔巴沟偏小12.2%)。

表4 岔巴沟主要产流降雨最大流量、最大含沙量及出现时间

日期 年、月、日	最大流量				最大含沙量			
	出现时间	距产流 开始时间	流量	含沙量	出现时间	距产流 开始时间	流量	含沙量
	(时、分)	(min)	(m ³ /s)	(kg/m ³)	(时、分)	(min)	(m ³ /s)	(kg/m ³)
19630523	11:42	462	83.0	845	12:00	480	58.0	1020
19630603	17:22	78	131.0	1010	17:22	78	131.0	1010
19630615	22:00	72	10.2	537	22:00	72	10.2	537
19630605	23:36	216	5.5	259	24:00	240	3.4	335
19630629	22:00	300	3.1	116	22:30	330	2.7	740
19630706	6:18	300	27.7	401	7:00	342	15.8	653
19630826	20:36	306	585.0	1020	20:32	302	554.0	1220
19630828	21:56	181	187.0	707	20:00	65	6.8	855
19640429	19:42	45	190.0	953	19:51	54	133.0	1000
19640705	1:24	624	183.0	684	2:00	660	127.0	760
19640714	0:15	255	79.8	713	2:30	390	10.4	796
19640716	18:43	193	14.3	855	18:43	193	14.3	855
19640802	15:26	36	155.0	709	16:30	100	27.6	762
19640823	23:12	192	6.3	139	24:00	240	2.4	391
19640911	0:30	270	96.7	589	0:30	270	96.7	589
19640917	3:30	90	31.5	691	5:00	180	9.2	829
19670521	18:25	9	53.5	870	20:00	99	17.6	1020
19670717	17:37	97	167.0	876	17:22	82	161.0	887
19670822	4:06	66	60.8	702	3:54	54	56.5	745
19670826	16:14	86	289.0	803	16:16	88	276.0	820
19670901	0:15	15	114.0	802	0:15	15	114.0	802
19670913	19:42	462	38.8	715	20:15	495	21.2	988
19680715	20:21	61	308.0	821	19:53	33	3.3	865
19680718	19:33	3	33.0	760	20:30	60	4.6	872
19680725	19:30	42	86.9	653	19:30	42	86.9	653
19680813	10:38	148	6.0		10:36	156	3.9	650
19680822	0:54	36	19.5	587	0:54	36	19.5	587
19690511	16:51	27	818.0	789	17:30	66	132.0	951
19690726	19:35	95	145.0	699	21:30	210	21.4	766
19690809	23:48	378	67.1	563	17:48	18	12.0	771
19690820	22:12	22	446.0	736	23:00	70	109.0	833
平均		166.7	143.3	686.8		178.1	72.3	792.3

3 沙峰和洪峰出现时的流量特征

从沙峰和洪峰出现时的流量看,团山沟 44 次降雨产流的最大流量平均为 $1.268\text{m}^3/\text{s}$,最大含沙量出现时的流量为 $0.913\text{m}^3/\text{s}$,比最大流量偏小 28.0%;蛇家沟 27 次降雨产流的最大流量平均为 $14.967\text{m}^3/\text{s}$,最大含沙量出现时的流量为 $10.777\text{m}^3/\text{s}$,比最大流量偏小 28.0%;刘家沟 23 次降雨产流的最大流量平均为 $36.877\text{m}^3/\text{s}$,最大含沙量出现时的流量为 $22.868\text{m}^3/\text{s}$,比最大流量偏小 37.9%;岔巴沟 31 次降雨产流的最大流量平均为 $143.3\text{m}^3/\text{s}$,最大含沙量出现时的流量为 $72.3\text{m}^3/\text{s}$,比最大流量偏小 49.5%,总体上最大含沙量出现时的流量较最大流量偏小 30%~50%。当沙峰滞后于洪峰时,最大含沙量出现时的流量较最大流量偏小 40%~60%(团山沟偏小 43.8%,蛇家沟偏小 36.6%,刘家沟偏小 53.3%,岔巴沟偏小 62.4%);当沙峰超前于洪峰时,最大含沙量出现时的流量较最大流量偏小 20%~40%(团山沟偏小 23.1%,蛇家沟偏小 23.1%,刘家沟偏小 7.0%,岔巴沟偏小 42.3%)。

4 沟道洪水过程的特点

黄土高原流域洪水过程的基本特点是峰高、量小、历时短,洪峰陡涨陡落。这一特点不仅沟道小流域如此,大中流域亦同。根据员江提供的资料,1979 年 8 月 10~14 日纳林河流域降雨面平均雨量 160mm。在 18min 内洪水流量由 $40\text{m}^3/\text{s}$ 猛增到 $4220\text{m}^3/\text{s}$ 。在中型流域,亦有沙峰超前于洪峰的现象,如 1978 年 7 月 27 日陕西清涧河流域(面积 3468km^2)的大暴雨。面平均雨量 202mm,延川水文站最大含沙量 8:42 出现,洪峰滞后于 6min 于 8:48 出现(图 3)。

黄土高原沟道沙峰和洪峰在时间对应上,以沙峰滞后于洪峰为主,占 50%~60%;沙峰和洪峰同时出现的占 20%~40%;沙峰超前于洪峰的占 10%。洪峰出现时的含沙量较最大含沙量平均偏小 10%左右。其中,当沙峰滞后于洪峰时,最大流量出现时的含沙量较最大含沙量偏小 15%左右,当沙峰超前于洪峰时,最大流量出现时的含沙量较最大含沙量偏小 5%~10%。沙峰出现时的流量较最大流量偏小 30%~50%。其中,当沙峰滞后于洪峰时,最大含沙量出现时的流量较最大流量偏小 40%~60%,当沙峰超前于洪峰时,最大含沙量出现时的流量较最大流量偏小 20%~40%。

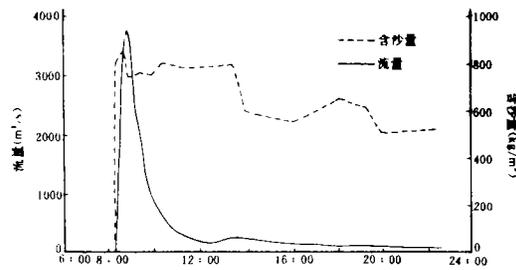


图 3 清涧河延川 19780727 洪水流量、含沙量过程线

参 考 文 献

- 1 王兴奎等. 黄土丘陵沟壑区高含沙水流的形成及汇流过程. 水利学报, 1982(7)
- 2 员江. 黄土高原大暴雨条件下土壤侵蚀特性的初步分析. 硕士学位论文, 1994(7)