

# 天山北坡降水对河流水沙情势影响\*

陈亚宁 李卫红

(中国科学院新疆地理研究所 乌鲁木齐 830011)

**提 要** 以天山北坡头屯河流域为例,在对山区不同海拔的降水特征、侵蚀产沙情势以及河流水沙运移特点分析的基础上,详尽就山区降水对河流水沙情势的年际变化、年内变化以及月变化的影响进行了分析研究,并就降水对不同海拔的河流水沙情势的影响强度及相互关系作了探讨。

**关键词** 天山北坡 降水特征 水沙情势 侵蚀产沙

天山地处欧亚大陆腹地,北依准噶尔盆地,南临塔克拉玛干沙漠,是突起在南北荒漠地区上的一条长大山系,同时也是准噶尔盆地南缘和塔里木盆地北缘众多河流的发源地。

天山北坡山体不同海拔的自然景观因水热条件变化而很不相同。高山区降水充沛,山峰白雪皑皑,冰川广布;低山丘陵区则呈干旱、半干旱气候带,降水较少,植被稀疏,地表物质松散。因而发源于天山北坡的河流,其径流形成、产输沙过程独具特色。如天山北坡头屯河是一条典型的山溪性河流,多年平均径流量为  $2.39 \times 10^8 \text{ m}^3$  (哈地坡水文站),流域集水面积  $1562 \text{ km}^2$ ,其中海拔  $1500 \text{ m}$  以上(制材厂水文站以上)中高山区集水面积为  $840 \text{ km}^2$ ,占流域集水总面积的  $51.3\%$ 。该区水系发育,覆被率高,为河川径流形成区;而制材厂水文站以下中低山区,植被稀少,岩土裸露,为流域侵蚀产沙区。结合头屯河流域不同高度降水特征、产输沙机理及河流水沙匹配过程的研究,详尽分析了天山北坡降水对河流水沙情势的影响,旨在为河流减沙治理和流域水土保持提供理论依据和科学参考。

## 1 山区降水特征

### 1.1 降水量随海拔升高而增加

天山地区降水呈随海拔升高而增加的趋势。根据头屯河流域不同海拔的降水资料分析,降水量递增梯度为  $16.6 \sim 25.9 \text{ mm/hm}$  (图 1)。

### 1.2 局地性暴雨强度大

天山山区降水可分为两类。一类是大尺度天气系统形成的大范围降雨,另一类是局地性暴雨。大范围降雨特点表现为大多降在山区,雨区笼罩面积大,历

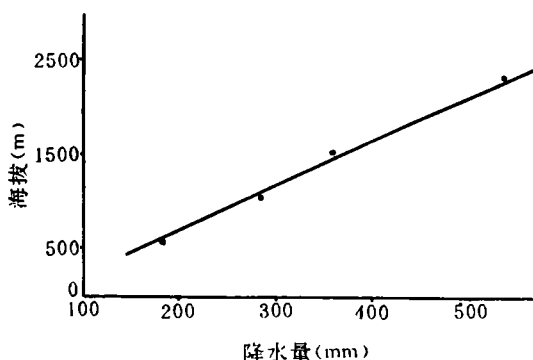


图 1 头屯河流域降水与海拔变化关系曲线

Fig. 1 Relation curve of precipitation and altitude changes in Touthunhe Basin

\* 参加野外考察及资料分析工作的还有徐俊荣、陈利军、刘明哲、李韧等。

本文收稿日期:1996-01-12,改回日期:1997-01-29。

时较长,可达 1~2d,甚至更长. 如 1987-07-25~27 一次降水,天山北坡中段山区都有降水,历时 20~40h;局地性暴雨大多是在天气系统过境时,由于地形和下垫面因素的影响,形成局部环流的强对流天气,在低山带形成局部的雷雨或暴雨. 这类降水的特点是:笼罩范围小,往往仅数十平方公里;历时短,多为十几或几十分钟,但强度大,局地性特征显著. 如 1984-05-23,头屯河水库附近 20min 内突降暴雨 19.8mm,而同期,距头屯河水库不足 40km 的昌吉地区仅降雨 0.5~2.0mm. 天山北坡的这种局地性阵发型降水对河流产输沙影响较大.

### 1.3 降水量年际变化小

天山山区降水量年际变化较小. 如头屯河流域年际降水量变差系数  $C_v$  值在 0.19~0.23 之间,年际变化比较稳定. 并且  $C_v$  值有随海拔增高而减小的趋势(表 1). 流域内最大年与最小年的降水量比值变化在 1.82~2.56 之间,变化幅度比较小.

表 1 头屯河流域多年降水量特征值统计

Table 1 Characteristical values of perennial precipitation in Toutunhe Basin

站 名	测站海拔 (m)	统计年数 (a)	年降水量 (mm)	$C_v$		$C_v/C_p$	最大年		最小年		最大年值 最小年值
				计算	采用	采用	降水量 (mm)	年份	降水量 (mm)	年份	
小渠子(气)	2 160	35	544.2	0.19	0.21	2	769.9	1958	334.8	1977	2.30
制材厂	1 430	31	364.8	0.21	0.23	2	540.3	1958	211.2	1977	2.56
团结队	1 220	12	260.5				320.3	1988	175.6	1986	1.82
哈地坡	966	35	282.3	0.23	0.23	2	424.0	1958	167.6	1956	2.53
昌吉(气)	577	38	184.6	0.22	0.23	2	289.7	1958	131.8	1974	2.20

### 1.4 年内降水集中在夏季

天山北坡地区的降水量年内分配极不均匀,降水量集中于夏季(6~8月),占年降水总量的 31%~51%,尤以 6 月份降水量为多,约占年降水总量的 15%~20%.

## 2 河流水沙情势

天山北坡河流具有基本相似的水沙运移特点,具体表现为以下两个方面.

### 2.1 河川径流主要由大气降水和冰雪融水形成

分析头屯河近 35 a 资料表明,在其年径流量构成中,雨水占 36.5%,融雪水占 35.5%,冰川融水占 6.8%,年径流量的丰、枯既与大气降水有关,亦与热力条件密切联系着. 这正是天山北坡广大河流径流量年际变化较为稳定的原因之一.

### 2.2 水沙异源,水沙过程不匹配

天山北坡河流具有上游产水、中游产沙、水沙过程不同源之特点. 分析头屯河流域不同地带的水沙过程可以看出,约占年径流量 90%的水源自海拔 1 500m 以上中高山区,而该区的产输沙量仅为河流输沙总量的 35%左右,显示出强烈的上游产水、中游产沙、水沙异源的特点.

## 3 流域产输沙机理

### 3.1 产沙区特点

天山北坡河流的主要产沙区大多位于海拔 1 500m 以下低山区. 该区降水较少,呈干旱、半干旱气候类型,干燥剥蚀强烈,岩土裸露,植被覆盖率低(<20%),加之该区阵发性降水较多,雨水直接击溅地表,山地侵蚀产沙过程强烈.

### 3.2 侵蚀产沙类型

天山北坡山地的侵蚀产沙类型较多,有重力侵蚀、水力侵蚀、风力侵蚀以及水力——重力侵蚀等,尤以后者为烈. 它们多在水力作用下,以片蚀、沟蚀等形式侵蚀产沙. 主沟两侧坡体上冲沟、蚀沟广布,劣性地貌发育,此种地貌类型在低山带十分突出.

### 3.3 产输沙动力因子

天山北坡山地的产输沙动力因子主要以雨水冲蚀为主,尤其夏季的阵发性降水是造成山地侵蚀和河流来沙的主要动力条件,这一特征在覆被率较低的低山丘陵区表现最为突出. 同时,中山带季节性积雪融化产汇流时产生的侵蚀产沙作用亦非常强烈,泥沙物质主要为悬移质,对春季 3 月中旬至 4 月中旬河流的产输沙情势有重要影响. 相比之下,河水冲蚀河槽产沙远较前二者为弱,且有一定规律性,这是天山北坡河流的独特之处.

## 4 降水对水沙情势的影响

天山北坡河流的水沙变化与降水状况密切相关,山区降水是影响河流水沙情势的重要因素,只是不同地带降水对河川径流及产输沙情势的影响强度有所差异.

### 4.1 降水对水沙情势年际变化的影响

天山北坡河流主要为降雨和冰雪融水混合型补给的河流,年降水量的多寡将对河流水沙情势产生影响. 统计头屯河流域降水和河川径流以及河流输沙的关系表明,头屯河上游山区降水和河流径流量的年际变化关系密切,二者的相关系数高达 0.83(图 2).

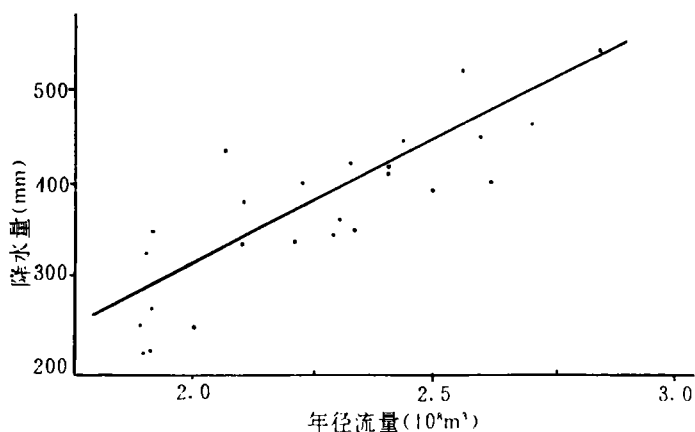


图 2 头屯河降水与年径流量变化关系曲线(制材厂水文站)

Fig. 2 Relation curve of the precipitation and perennial runoff changes in Toutunhe Basin

据制材厂水文站资料通过回归计算,得到二者的函数关系为

$$H_s = 1.3505 + 0.0024P_s,$$

式中  $H_t$  为径流量( $10^8\text{m}^3$ );  $P_t$  为降水量(mm)。

同时,以头屯河中游河流出口山口控制站哈地坡水文站为例,分析低山带降水与河道水沙情势的年际变化则发现,降水不仅与河川径流量,而且与输沙量变化都相关较好。

经计算,哈地坡水文站年降水量与年径流量的相关系数为 0.768 7,较流域上游(制材厂水文站)相比,相关系数略低。哈地坡水文站降水量  $P_H$  与径流量  $H_H$  的函数关系式为

$$H_H = 1.4076 + 0.0038P_H.$$

降水量与输沙量的相关系数为 0.6,二者的函数关系为

$$W_H = -5.2864 + 0.1456P_H,$$

式中  $W_H$  为年输沙量( $10^4\text{t}$ );  $P_H$  为降水量(mm)。

#### 4.2 降水对水沙情势年内变化的影响

天山北坡河川径流的年内分配很不均匀,变化较大,年内径流分配既与热力条件密切联系着,又与降水状况有关。如以制材厂水文站实测资料为例,分析头屯河流域上游山区降水量与径流量年内匹配关系(表 2),夏季的降水量和河川径流量均为最大,分别占年各自总量的 50.2%和 65.7%。同时,分析对比年内不同季节降水量和径流量各自所占总量的百分比还可以看出,除夏季的降水量所占比重比径流量的小外,春、秋、冬三季的降水量所占比重均较径流量所占比重大,其中春季所占比重差值较大,春季降水量所占年降水总量百分比约高出同期径流量所占比重的 14.8 个百分点,其主要原因与春季山区降水形式有关。

表 2 天山北坡头屯河上游山区降水与径流年内匹配分析表

Table 2 Matched analysis of precipitation and runoff in a year at the upper reaches of the Toutunhe Basin

时 间	春季(3~5月)	夏季(6~8月)	秋季(9~11月)	冬季(12~2月)	全 年
降水量(mm)	97.6	183.5	68.4	16.1	365.6
百分比(%)	26.7	50.2	18.7	4.4	100.0
径流量( $10^8\text{m}^3$ )	0.2654	1.4590	0.404	0.0851	2.2200
百分比(%)	11.9	65.7	18.4	3.8	100.0
百分比差值	+14.8	-15.5	+0.3	+0.6	

注:制材厂水文站,1960~1994年

天山山区春季降水多以固态降雪形式贮存于流域中,未能完全直接补给河流。同时春季山区的降水伴随着降温过程,抑制积雪的消融。而当夏季到来,随着气温的升高,冬春季的积雪融化补给河流,从而使得夏季径流所占比重远较同期降雨所占比重大。究其原因,夏季的径流不仅与降水还与热力条件有关。高山区冰川融水主要集中在热力条件较好的 6~8 月三个月,这也使得夏季河水流量增加许多。

降水对河川径流量年内分配的影响还可以制材厂水文站和哈地坡水文站的年径流与 5~9 月间降水量的函数关系加以说明。

$$H_t = 1.3077 + 0.0034P_{5\sim9}; \quad R = 0.6862,$$

$$H_H = 1.7252 + 0.0042P_{5\sim9}; \quad R = 0.7766,$$

式中  $H_t$  和  $H_H$  分别为制材厂水文站和哈地坡水文站径流量,  $P_{5\sim9}$  为各自测站 5~9 月的

降水量。

由以上二式可见,两站降水和径流的关系都相关较好。分析河流来沙量变化与降水的关系可以发现,降水对河道来沙量影响也较大,河道来沙量的年内分配表现为:夏季>春季>秋季>冬季,与年内降水的季节分配相吻合。

详尽分析比较河道来水来沙的关系还发现,春、秋两季的水沙匹配关系极不相同,表现为春季河道来沙量远较秋季大。如以河流上游制材厂水文站为例,4、5 两个月的河道平均来水量分别占年总量的 2.77%和 8.81%,河水含沙量则分别高达 0.546kg/m<sup>3</sup>和 0.653kg/m<sup>3</sup>;而秋季 9、10 两个月平均河道来水量分别占年总量的 8.20%和 4.27%,同期河水含沙量则分别为 0.025kg/m<sup>3</sup>和 0.11kg/m<sup>3</sup>,远低于春季 4、5 两个月的河水含沙量。河流中游水沙不匹配状况表现更甚,据距制材厂水文站下游 32km 处的水库实验站实测资料,4、5 两个月的河水含沙量分别是 9、10 两个月河水含沙量的 49.55 和 2.28 倍,甚至高出多水 8 月份河水含沙量。究其原因,一方面与年内不同季节河槽变化、河水侵蚀状况有关,另一方面还是受降水作用影响。从天山北坡头屯河山区流域降水的年内分配看,春季降水较秋季多,尤其 4、5 月两个月的降水次数平均较 9、10 月两个月降水多 39%~45%,并且,低山带表现更为突出,最大降水月在春季出现次数所占比重较高。据流域上游制材厂水文站实测资料,34 a 中,有 33 a 的最大降水月出现在夏季,仅有一年最大降水月出现在春季(5 月份)。而河流中游出山口附近的哈地坡水文站,在对应的 34 a 中,最大降水月有 20 a 出现在夏季,其中 6 月份居多,13 次,占总数的 38%;14 次出现在春季,占总数的 41%,其中 4 月份 7 次,5 月份 6 次,3 月份 1 次(表 3)。实测 34 年中,无一次最大降水月出现在秋季。春季阵发型降水和暴雨远较秋季多这一现象对山地侵蚀产沙作用势必较烈,带入河道的泥沙必然亦较多。

再则,春季低山带的季节性积雪因气温回升,或在降雨或雨夹雪天气影响下而迅速消融,在其产汇流过程中以面蚀、片蚀和沟蚀形式侵蚀产沙,加大河流输沙量。统计头屯河输沙情势表明,头屯河水含沙量年内有两次高峰,一次出现在春季的 3~4 月份,另一次出现在夏季发生暴雨时。这与干旱区山地侵蚀环境是相一致的,是天山北坡河流的共同特点。

#### 4.3 降水对水沙情势月变化影响

山地垂直带的降水对不同地带河流水沙情势月变化的影响不尽相同。分析头屯河流域山区降水与河流水沙情势的月变化关系发现,上游中高山区降水对河流水沙情势月变化影响不甚很大。如统计头屯河上游制材厂水文站的降水和水文泥沙资料表明,流域上游的年内最大降水月和河道最大来水来沙月在出现时间上相错开,前者出现在 6 月份,后者出现在 7 月份,滞后一个月。这是由于 7 月份气温较高,一方面促使山区大面积冰雪融化,山地侵蚀范围增大,同时冰雪融水补给河流,随着径流量的增加,河水对河槽的侵蚀

表 3 头屯河流域近 34 年最大降水月出现次数统计

Table 3 Frequency of the maximum precipitation month occurred in last 34 years in Toutunhe Basin

月 份	3	4	5	6	7	8	合计
制材厂站			1	16	13	4	34
次数			2.94	47.06	38.24	11.76	100
%							
哈地坡站	1	7	6	13	5	2	34
次数	2.94	20.59	17.65	38.24	14.70	3.88	100
%							

产沙强度亦相应加大;再者,尽管 6 月份降水较多,但由于流域上游中高山区的植被状况较好,良好的植被条件使地表免受雨水直接溅蚀,有助于稳固土壤,抑制山地侵蚀和水土流失。

然而详尽分析流域中游低山带产沙区的降雨和水沙关系则发现,降水对河流月径流量的影响远不及对河流来沙量的影响。这与中游产沙区植被稀少、岩土裸露、山地侵蚀剥蚀强烈有关。分析表明,河流中游低山带的最大降水月和最大输沙量月相吻合,均出现在 6 月份。

### 参 考 文 献

- [1] 李卫红等. 天山头屯河水沙情势变化分析. 干旱区地理, 17(3), 82~89.
- [2] 左大康. 黄河流域环境演变与水沙运行规律研究文集. 北京:地质出版社, 1991.
- [3] 陈亚宁等. 新疆头屯河流域山地侵蚀与减沙治理研究. 新疆人民出版社, 1995.

## THE INFLUENCE OF PRECIPITATION TO RIVER WATER AND SEDIMENT YIELD ON NORTHERN SLOPE OF TIANSHAN MOUNTAIN

Chen Yaning Li Weihong

(Xinjiang Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences Urumqi 830011)

### Abstract

Taking Toutunhe Basin as an example, the characteristics of precipitation on different altitudes, the situation of mountain erosion and the process of river runoff and sediment yield on the northern slope of Tianshan Mountain were analysed. And then, the influence of precipitation on the annually, yearly and monthly changes of river runoff and sediment yield were studied in detail. Meanwhile, the mutual relation between precipitation with river runoff and sediment yield on different altitudes was discussed in the paper.

**Key words** northern slope of Tianshan Mountain, precipitation, influence, river runoff, sediment yield