

文章编号: 1000-0240(2008)06-1068-05

1954–2007年叶尔羌河上游山区径流 和泥沙变化特征分析

Changes in Runoff and River Sediments in the Upper Reaches of
Yarkent River, Karakorum during 1954–2007

孙本国¹, 沈永平^{2*}, 王国亚²

(1. 新疆喀什水文水资源勘测局, 新疆 喀什 844000; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 1954–2007年的54 a来, 在全球气候变暖的大背景下, 叶尔羌河流域气温升高, 降水增加, 水循环加强, 年径流量呈线性增加趋势, 冰湖溃决洪水增加。随着径流和洪水的增加, 叶尔羌河水年含沙量呈显著线性增加趋势, 年输沙量也呈显著增加。21世纪以来, 栏杆站的含沙量与输沙量占卡群站的比例有明显增大, 但与年径流量的变化是相反的。由于冰雪径流与降水增加对流域水文过程的共同影响, 使得河流水文过程变化更加复杂。

关键词: 气候变化; 径流变化; 泥沙变化; 叶尔羌河流域; 喀喇昆仑山

中图分类号: P333 **文献标识码:** A

1 叶尔羌河流域概况

叶尔羌河位于新疆西南部的塔里木盆地西缘, 流域介于 $74^{\circ}28' \sim 80^{\circ}54' E$, $34^{\circ}50' \sim 40^{\circ}31' N$ 之间, 是塔里木河流域主要源流之一。发源于喀喇昆仑山北坡的拉斯开木河, 上游由上游干流及克勒青河和塔什库尔干两大支流组成, 下游蜿蜒于塔克拉玛干沙漠西部边缘, 最后注入塔里木河, 河流全长1 179 km。流域总面积 $9.89 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中山区面积 $6.08 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占流域总面积61.5%; 平原区面积 $3.81 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占流域总面积的38.5%。

叶尔羌河流域地形南高北低, 山地和平原间以大断裂相隔, 上游河源区群峰矗立, 山体高大, 在海拔6 000 m以上有闻名世界的乔戈里峰(海拔8 611 m), 慕士塔格山峰(海拔7 546 m)(位于克州与喀什分界线上)等数十座雪山, 形成世界上最大的山地冰川作用中心之一。上游河谷均呈东南-西北向, 山谷相间高差达3 000~5 000 m, 切割很深,

河曲较大, 水流湍急。由于顺坡下伸的山谷冰川延伸入干流谷地, 纵向河谷、横向冰川的地貌格局是叶尔羌河河源区地貌特点之一, 也是冰川湖形成的主要原因。与克勒青河汇合后呈南-北走向, 在库鲁克栏杆站以下接纳了塔什库尔干河才折向东北, 到卡群站稍下至出山口进入平原区, 穿越农业灌区沿塔克拉玛干大沙漠边缘注入塔里木河(图1)。叶尔羌河流域是典型的冰雪融水补给河流, 流域发育着丰富的冰川, 山区冰川总条数为3 059条, 冰川总面积合计 $5 315 \text{ km}^2$, 冰储量 684.5 km^3 , 年冰川融水量可达 $38.24 \times 10^8 \text{ m}^3$ (包括国外冰川条数、面积及融水量在内), 若除去提孜那甫河, 仅叶尔羌河中上游就有冰川2 689条, 冰川面积 $4 964 \text{ km}^2$, 冰储量 590 km^3 , 年冰川消融水量 $36.48 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。叶尔羌河是以冰川融雪补给型河流, 水资源补给的组成决定了叶尔羌河水资源年际变化不大, 年内分配不均, 洪峰流量大, 洪枯流量相差悬殊, 并周期性地伴有冰川突发性洪水, 这就是叶尔羌河的

收稿日期: 2008-08-10; 修订日期: 2008-10-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771047); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-127)资助

作者简介: 孙本国(1966—), 男, 湖北随州人, 工程师, 现从事水文水资源方面的工作。E-mail: kssbg66@126.com

* 通讯联系人: shenyp@lzb.ac.cn

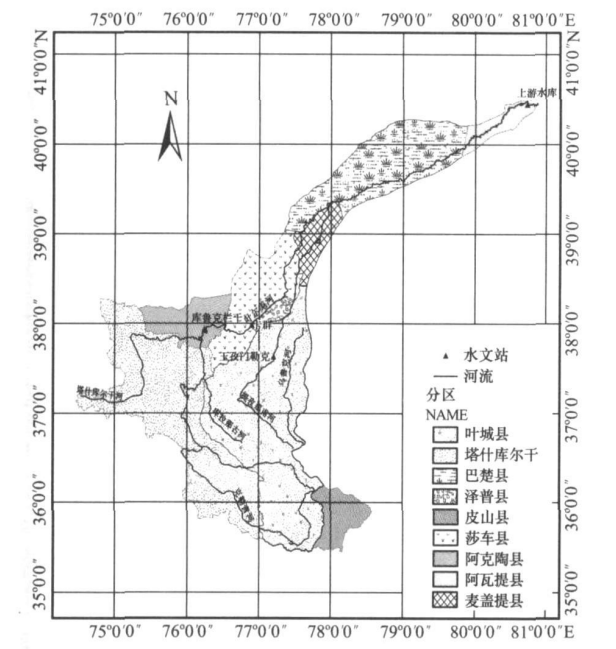


图 1 叶尔羌河流域图

Fig. 1 Map showing the loaction of Yarkent River basin

主要水文特征^[1]. 山谷冰川是叶尔羌河流域冰川的主体, 大型山谷冰川几乎全部分布于支流克勒青河, 长度超过 20 km 且面积在 70 km² 以上的冰川就有 10 条, 其中音苏盖提冰川长达 42 km, 冰川面积 380 km², 是叶尔羌河流域最大的一条冰川. 流

域多年平均冰川消融量约 $41.76 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占出山口多年平均径流量 $65.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的 63.9%. 根据卡群站实测资料分析, 叶尔羌河最大年径流量为 $95.53 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最小年径流量为 $44.68 \times 10^8 \text{ m}^3$, 在平水偏枯年份, 径流量年内分配极不均匀, 6– 8 月径流量占年径流量的 73.9%, 而 3– 5 月径流量仅有 $2.996 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占年径流量的 5.3%. 叶尔羌河是南疆洪峰流量最大的河流, 历史上(1880 年)出山口卡群站曾发生过 $9\,140 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的大洪水. 据叶尔羌河冰川洪水考察分析, 冰川湖突发洪水是该河危害最大的一种洪水^[2], 此型洪水多发生在 8 月下旬至 9 月上旬, 个别年份冬季也有发生. 据卡群站 49 a 资料统计, 冰川湖突发洪水比较大规模者, 相继发生了 18 次.

2 水文站资料统计与分析

因河流出山口后年径流量受灌区引水调配影响, 不属天然径流, 本文只选出山口以上的库鲁克栏杆站、卡群站从设站观测年份到 2007 年止实测年径流量、年平均含沙量、年输沙量资料做统计分析. 二站基本资料统计见表 1, 库鲁克栏杆站因历因历史原因有几年的径流资料缺测, 本文未进行插补展延.

库鲁克栏杆站是叶尔羌河上游水量控制站, 距

表 1 叶尔羌河水文站基本资料统计

Table 1 Hydrological stations in Yarkent River

河名	站名	位置	流域面积/km ²	海拔/m	径流资料时段	泥沙资料时段
叶尔羌河	库鲁克栏杆站	76°13'E, 37°44' N	32880	2000	1960– 1967, 1972– 2007	1979– 2007
叶尔羌河	卡群站	76°54'E, 37°59' N	50248	1450	1954– 2007	1957– 2007

表 2 叶尔羌河流域径流及气候变化统计

Table 2 Decade mean variations of runoff, rainfall and temperature in upper reaches of Yarkent River, Karakorum

年份	库鲁克栏杆站			卡群站		
	年径流量 / 10 ⁸ m ³	年降水量 / mm	年平均气温 / °C	年径流量 / 10 ⁸ m ³	年降水量 / mm	年平均气温 / °C
60 年代平均				63.26	63.6	10.8
70 年代平均	49.90	83.0	10.9	66.64	65.1	11.1
80 年代平均	50.37	107.9	11.3	63.16	65.3	11.2
90 年代平均	53.20	126.8	11.4	68.77	88.7	11.1
2000– 2004 年平均	49.27	132.4	11.5	65.19	114.2	11.5
1986 年以前平均	50.88	88.3	11.0	64.79	62.4	11.0
1987 年以后平均	50.58	127.5	11.5	65.86	95.9	11.2
实测多年平均	50.74	104.7	11.2	65.17	74.2	11.1

表 3 叶尔羌河两站年径流量距平变化

Table 3 Difference percent variations of annual runoff in Yarkent River

库鲁克栏杆站	距平/ %	卡群站	距平/ %	栏杆/ 卡群/ %	距平/ %
1960– 2007 年均值	0.0	1954– 2007 年均值	0.0	78.1	0.0
1960– 1967 年均值	– 7.2	1954– 1969 年均值	– 4.0	75.5	96.7
1972– 1979 年均值	1.2	1970– 1979 年均值	1.1	78. %	100.0
1980– 1989 年均值	– 2.1	1980– 1989 年均值	– 4.2	79.8	102.1
1990– 1999 年均值	3.4	1990– 1999 年均值	4.4	77.4	99.0
2000– 2007 年均值	4.5	2000– 2007 年均值	6.4	76.8	98.3

河源约 416 km，下游约 17 km 处有支流塔什库尔干河汇入，距下游卡群站约 112 km，集水面积为 32 880 km²，多年平均年径流量为 51.47×10⁸ m³。叶尔羌河卡群站作为全河水量控制站，集水面积为 50 248 km² (含国外面积 2 870 km²)，实测多年平均年径流量为 65.89×10⁸ m³ (含国外入境水量 3.06×10⁸ m³)。最大年径流量 95.53×10⁸ m³，发生在 1994 年；最小发生在 1965 年，年径流量为 44.68×10⁸ m³。

统计水文 50 多年来的径流及气象资料(表 2)，可以看出叶尔羌河上游山区的来水，近 50 a 来总体趋势是增加，尤其是在 20 世纪 90 年代增加最为明显。随着新疆大部分地区在 1986/1987 年度的气候转型^[3–5]，整个流域气温升高，水循环加强，降水增加明显。以 1986 年为界，两站的降水年平均增加都达到 50% 左右，气温在高海拔的升温幅度大于低海拔。但山区径流，由于大量冰川的分布，径流响应比较复杂，需要进一步深入研究。

3 年径流量变化

3.1 年代际变化

对年径流量年代际变化分析时，库鲁克栏杆站(以下简称栏杆站)以 1960–1967 年和 1972–2007 年的 44 a 平均值为基准，卡群站以 1954–2007 年的 54 a 平均值为基准。栏杆站以 1960–1967 年代表 60 年代，1972–1979 年代表 70 年代，1980–1989 年代表 80 年代，1990–1999 年代表 90 年代，2000–2007 年近 8 a 代表 21 世纪初。卡群站以 1954–1969 年代表 60 年代，1970–1979 年代表 70 年代，1980–1989 年代表 80 年代，1990–1999 年代表 90 年代，2000–2007 年近 8 a 代表 21 世纪初。分别计算两站各年代际年径流量距平均值的百分率序列(表 3)，两站年径流量年代际变化见图 1。

从表 3 可见，实测多年平均年径流量中栏杆站占卡群站比例为 78.1%，各年代际比例分别从 75.5% 到 79.8%，变化不大。再以栏杆站占卡群站比例 78.1% 为基准，分别计算各年代际距基准的百分率，各年代际距平百分率从 96.7% 到 102.1%，变化不大，90 年代以来栏杆站占卡群站比例在减少。

与实测资料的平均值相比，50–60 年代、80 年代栏杆站的年径流量分别偏少 7.2% 和 2.1%，70 年代、90 年代、21 世纪初分别偏多 1.2%，3.4% 和 4.5%。卡群站年径流量的年代际距平分布状况与其相似，60 年代和 80 年代分别偏少 4.0% 和 4.2%，70 年代、90 年代、21 世纪初分别偏多 1.1%，4.4% 和 6.4%。

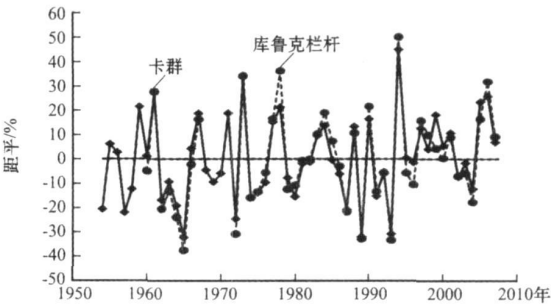


图 2 叶尔羌河卡群站与库鲁克栏杆站年径流量距平变化

Fig. 2 Difference percent variations of annual runoff in Yarkent River

3.2 年际变化

对年径流量年际变化分析时，栏杆站以 1960–1967 和 1972–2007 年的 44 a 平均值为基准，卡群站以 1954–2007 年的 54 a 平均值为基准，分别计算两站各年年径流量距平均值的百分率序列，两站年径流量年际变化见图 2。两站年际变化趋势也是

表 4 叶尔羌河两站年含沙量距平变化

Table 4 Difference percent variations of sediments content of river water in Yarkent River

栏杆站	距平 / %	卡群站	距平 / %	栏杆 / 卡群 / %	距平 / %
1979– 2007 年均值	0.0	1957– 2007 年均值	0.0	107.1	
		1957– 1979 年均值	– 4.4		
1979– 1989 年均值	– 10.9	1980– 1989 年均值	– 5.1	100.6	94.0
1990– 1999 年均值	2.8	1990– 1999 年均值	13.0	95.8	89.4
2000– 2007 年均值	11.7	2000– 2007 年均值	0.7	118.9	111.0

基本一致的, 栏杆站的年际变化幅度大于卡群站.

4 年含沙量变化

4.1 年代际变化

对年含沙量年代际变化分析时, 栏杆站以 1979– 2007 年的 29 a 平均值为基准, 卡群站以 1957– 2007 年的 51 a 平均值为基准. 栏杆站以 1979– 1989 年代表 80 年代, 1990– 1999 代表 90 年代, 2000– 2007 年 8 a 代表 21 世纪初. 卡群站以 1957– 1979 代表 70 年代前, 1980– 1989 年代表 80 年代, 1990– 1999 年代表 90 年代, 2000– 2007 年 8 a 代表 21 世纪初. 分别计算两站各年代际年含沙量距平均值的百分率序列见表 4, 两站年含沙量年代际变化见图 3.

从表 4 可见, 实测多年平均年含沙量中栏杆站占卡群站比例为 107.1%, 即栏杆站年平均含沙量比卡群站大, 80 年代、90 年代和 21 世纪初栏杆站占卡群站的比例分别为 100.6%、95.8% 和 118.9%. 再以栏杆站占卡群站比例 107.1% 为基准, 分别计算各年代际距基准的百分率, 各年代际分别为 94.0%、89.4% 和 111.0%, 21 世纪以来栏杆站占卡群站的比例有明显增大, 与年径流量的变化是相反的.

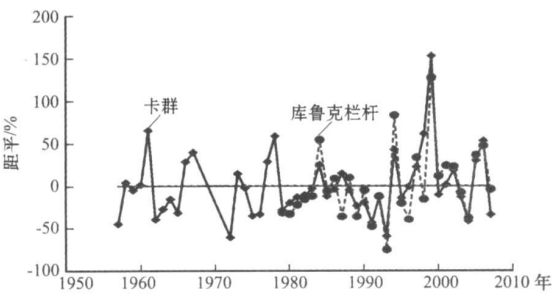


图 3 叶尔羌河卡群站与库鲁克栏杆站年含沙量距平变化
Fig. 3 Difference percent variations of sediments contents of river water in Yarkent River

与实测资料的平均值相比, 80 年代栏杆站的年含沙量偏少 10.9%, 90 年代、21 世纪初偏多 2.8% 和 11.7%. 卡群站年含沙量的年代际距平分布状况与其不同, 70 年代前、80 年代分别偏少 4.4% 和 5.1%, 90 年代和 21 世纪初分别偏多 13.0%, 和 0.7%. 两站各年代际距其均值变化不相同, 并且大于年径流量的变化.

4.2 年际变化

对年含沙量年际变化分析时, 栏杆站以 1979– 2007 年的 29 a 平均值为基准, 卡群站以 1957– 2007 年的 51 a 平均值为基准, 分别计算两站各年含沙量距平均值的百分率序列, 两站年含沙量年际变化见图 3. 两站年际变化趋势大体上是一致的, 但有些年份是不同的, 栏杆站的年际变化幅度大于卡群站.

5 年输沙量变化

5.1 年代际变化

对年输沙量年代际变化分析时, 栏杆站以 1979– 2007 年的 29 a 平均值为基准, 卡群站以 1957– 2007 年的 51 a 平均值为基准. 栏杆站以 1979– 1989 年代表 80 年代, 1990– 1999 年代表 90 年代, 2000– 2007 年 8 a 代表 21 世纪初. 卡群站以 1957– 1979 年代表 70 年代前, 1980– 1989 年代表 80 年代, 1990– 1999 年代表 90 年代, 2000– 2007 年 8 a 代表 21 世纪初. 分别计算两站各年代际年输沙量距平均值的百分率序列见表 5, 两站年输沙量年代际变化见图 4.

从表 5 可见, 实测多年平均年输沙量相比较, 栏杆站占卡群站比例为 85.9%, 80 年代、90 年代、21 世纪初栏杆站占卡群站的比例分别为 81.6%、77.0%、91.1%. 以栏杆站占卡群站比例 85.9% 为基准, 分别计算各年代际距基准的百分率, 各年代际距平百分率分别为 95.1%、89.7% 和 106.1%,

表 5 叶尔羌河两站年输沙量距平变化

Table 5 Difference percent variations of transporting sediments in Yarkent River

栏杆站	距平/ %	卡群站	距平/ %	栏杆/ 卡群/ %	距平/ %
1979- 2007 年均值	0. 0	1957- 2007 年均值	0. 0	85. 9	0. 0
		1957- 1979 年均值	- 3. 6		
1979- 1989 年均值	- 16. 1	1980- 1989 年均值	- 11. 8	81. 6	95. 1
1990- 1999 年均值	7. 9	1990- 1999 年均值	20. 3	77. 0	89. 7
2000- 2007 年均值	12. 3	2000- 2007 年均值	5. 8	91. 1	106. 1

21 世纪以来栏杆站占卡群站的比例有明显增大, 与年径流量的变化是相反的.

与实测资料的平均值相比, 80 年代库鲁克栏杆站的年输沙量偏少 16. 1%, 90 年代、21 世纪初分别偏多 7. 9% 和 12. 3%. 卡群站年输沙量的年代际距平分布状况与其相似, 70 年代前、80 年代分别偏少 3. 6% 和 11. 8%, 90 年代、21 世纪初分别偏多 20. 3%, 和 5. 8%. 两站各年代际距其均值变化不相同, 并且大于年径流量的变化.

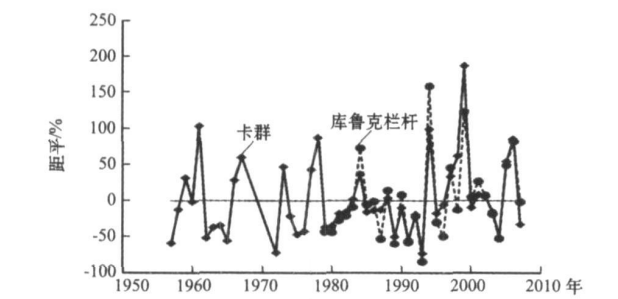


图 4 叶尔羌河卡群站与库鲁克栏杆站年输沙量距平变化
Fig. 4 Difference percent variations of transporting sediments in Yarkent River

5.2 年际变化

对年输沙量年际变化分析时, 栏杆站以 1979-2007 年的 29 a 平均值为基准, 卡群站以 1957-2007 年的 51 a 平均值为基准, 分别计算两站各年年输沙量距平均值的百分率序列, 两站年输沙量年际变化见图 4. 两站年际变化趋势大体上是一致的, 但有些年份是不同的, 栏杆站的年际变化幅度大于卡群站.

6 结论

(1) 50 多年来, 叶尔羌河年径流量呈线性增加趋势, 但不显著. 实测多年平均年径流量中, 栏杆站占卡群站比例为 78. 1%. 各年代际距平百分率变化不大, 90 年代以来栏杆站占卡群站比例在减少.

(2) 叶尔羌河年含沙量呈线性增加趋势, 比较

显著. 实测多年平均年含沙量中, 栏杆站占卡群站比例为 107. 1%, 说明栏杆站年平均含沙量比卡群站大, 各年代际距平百分率变化较大, 21 世纪以来栏杆站占卡群站的比例有明显增大, 与年径流量的变化是相反的.

(3) 叶尔羌河年输沙量呈线性增加趋势, 比较显著. 实测多年平均年输沙量中, 栏杆站占卡群站比例为 85. 9%, 各年代际距平百分率变化较大, 21 世纪以来栏杆站占卡群站的比例有明显增大, 与年径流量的变化是相反的.

参考文献(References):

[1] Sun Benguo, Mao Weiyl, Feng Yanru, *et al.* Study on the change of air temperature, precipitation and runoff volume in the Yarkant River basin[J]. *Arid Land Geography*, 2006, **23** (2): 203- 209. [孙本国, 毛炜峰, 冯燕茹, 等. 叶尔羌河流域气温、降水及径流变化特征分析[J]. *干旱区研究*, 2006, **23** (2): 203- 209.]

[2] Shen Yongping, Ding Yongjiang, Liu Shiyin, *et al.* An Increasing glacial lake outburst flood in Yarkant River, Karakorum in past ten years[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, **26**(2): 234. [沈永平, 丁永建, 刘时银, 等. 近期间气温变暖叶尔羌河冰湖溃决洪水增加[J]. *冰川冻土*, 2004, **26**(2): 234.]

[3] Wang Shunde, Wang Yanguo, Wang Jing, *et al.* Change of climate and hydrology in the Tarim River basin during past 40 years and their impact[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(3): 315- 320. [王顺德, 王彦国, 王进, 等. 塔里木河流域近 40a 来气候、水文变化及其影响[J]. *冰川冻土*, 2003, **25**(3): 315- 320.]

[4] Wang Shunde, Li Hongde, Hu Linjin, *et al.* Interzone water consumption from four source streams to mainstream of Tarim River, Xinjiang in 2002[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, **26**(4): 496- 502. [王顺德, 李红德, 胡林金, 等. 2002 年塔里木河流域四条源流区间耗水分析[J]. *冰川冻土*, 2004, **26**(4): 496- 502.]

[5] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm dry to warm humid in Northwest China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, **24**(3): 219- 226 [施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. *冰川冻土*, 2002, **24**(3): 219- 226.]