

近50年来新疆天山山区水循环要素的变化特征与趋势

蓝永超¹, 吴素芬², 钟英君³, 韩萍², 赵琪²

(1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃兰州 730000; 2 新疆水文水资源局, 新疆乌鲁木齐 830000;
3 新疆水利水电学校, 新疆乌鲁木齐 830000)

摘要: 天山山区由于其特殊的地理位置与高海拔, 成为新疆地表径流的主要产流区域。近几十年来, 全球平均气温的持续上升对该区域气温、降水、径流等水循环要素产生重要的影响。根据天山南北坡有关水文气象台站的观测资料, 系统地分析了该区域1960年代以来各水循环要素的变化特征与趋势。结果表明, 受全球变暖的影响, 1980年以来整个天山地区气温和降水均呈明显的上升趋势, 其中10 a气温的升幅更为显著; 对于降水而言, 天山南坡降水增幅大于北坡, 而南坡的西段是近10 a降水增幅最大的区域。受气温上升与降水增加的影响, 天山地区出山径流总体上呈增加的趋势, 其中, 近10 a天山南坡中西段河流出山径流量增幅最为显著, 平均增幅在30%以上。

关键词: 全球变暖; 水循环; 出山径流

中图分类号: P931

文献标识码: A

大气中温室气体增加, 改变地球表面热量平衡, 引起全球气候变化, 并进一步加剧某些地区的洪涝和干旱灾害, 对水文循环和径流形成产生重要影响, 不仅在全球的尺度, 而且在深入到流域尺度开展研究, 也已经初步得出由于地球表面受热条件的不同及大气环流的改变, 必然引起水文循环的变化和水资源在时空上的重新分配^[1-3]。全球气候变暖导致了水循环加快, 尤其干旱区水循环加快更加明显, 降水和蒸发增加。自19世纪末小冰期结束以来, 新疆呈现出了与全球一致的变暖趋势, 气候环境基本处于暖干状态之下。但是观测数据及研究结果表明^[4], 自1987年起新疆出现了气候转向暖湿的信号, 尤以天山西部地区为强劲。随着降水量的增加与气温的升高, 新疆大部分流域雪冰消融量和河川径流量连续增加, 平原湖泊水位持续上升, 面积逐年扩大。与此同时, 洪水灾害连年发生。这种气候变

化的前景如何直接关系到新疆的国民经济发展、洪旱灾害减灾、生态环境等。全球变暖加剧对天山山区水循环过程产生了重要的影响。因此, 揭示天山山区近几十年来降水、气温、冰川与径流出山等水循环要素的变化特征与趋势, 对于新疆地区水资源的合理开发利用以及社会经济的可持续发展均有着十分重要的意义。

1 研究区概况及资料来源与处理方法

1.1 研究区概况

天山为横亘于我国新疆与中亚地区的巨大山脉。习惯上将中亚地区的天山称为西天山, 将我国新疆境内的天山称为东天山^[5]。东天山西起我国与吉尔吉斯斯坦交界处, 东至新疆哈密以东的星星峡戈壁, 横亘新疆全境, 长约1700 km, 占天山山系

收稿日期 (Received date): 2006-11-23; 改回日期 (Accepted): 2007-03-05.

基金项目 (Foundation item): 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-229) 与中国气象局沙漠气象基金项目 (sq2005002) 资助。

作者简介 (Biography): 蓝永超 (1957-), 男 (汉族), 四川资阳人, 研究员, 主要从事全球变化、水文水资源方面的研究工作。E-mail: lyc@lzb.ac.cn [Lan Yongchao (1957-), male Professor, research interests including Global warming and hydrology and water resources.]

总长的 $2/3$ 以上。山脊平均海拔 $4\,000\text{ m}$ 左右,最高峰为位于新疆温宿县境内的托木尔峰,海拔 $7\,435.43\text{ m}$ ^[6]。虽然新疆地处欧亚大陆中心,远离海洋,干燥少雨,但对于东西走向的东天山山脉而言,由于大西洋、北冰洋气流的阻挡和抬升作用,降水比较充沛,东天山北坡年降水量可达 $500\sim 700\text{ mm}$,北坡西段个别迎风坡可达 $1\,000\text{ mm}$,形成西北荒漠中的湿岛^[7,8]。故新疆 63% 的河流源于天山山区,其径流量占全疆总径流量的 54% ^[9]。除了降水

比较丰沛之外,天山山区的高山地带还分布有丰富的现代冰川与永久性积雪^[10],冰川积雪融水是源于天山南北坡的诸条河流出山径流的重要组成部分。

1.2 资料来源与分析计算方法

考虑到资料的代表性和同步性,选择天山南北坡 28 个气象站的气温、降水与 18 个水文站的径流观测资料作为本文分析计算的基本资料,统计年限为 1960~2005 年,资料分别来源于新疆自治区水文水资源局与气象局。水文、气象站点分布见图 1。

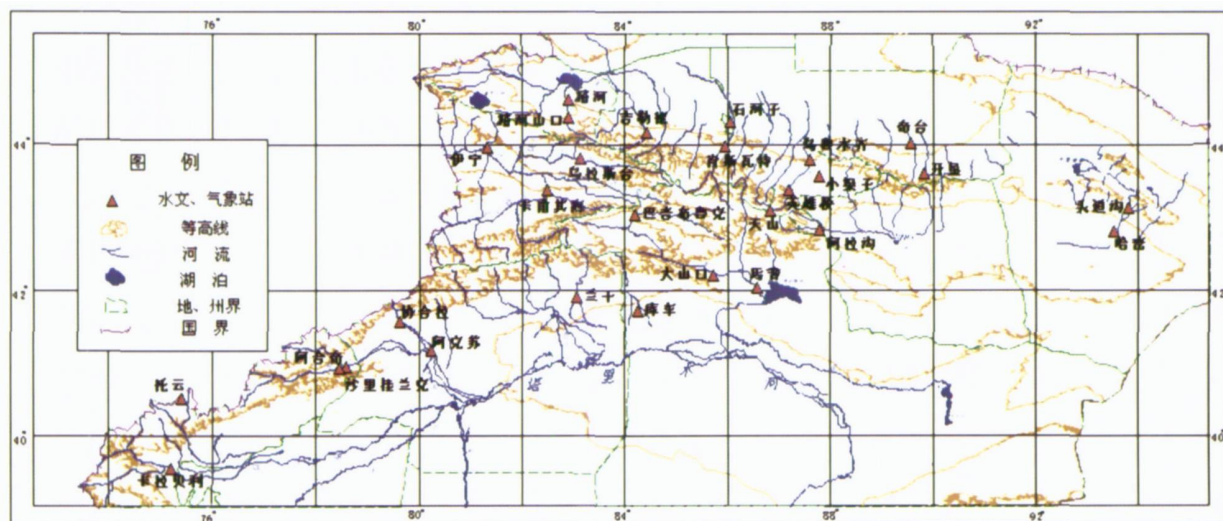


图 1 天山山区水文、气象站点分布图

Fig. 1 The distributing map of Hydrometric stations in the Eastern Tianshan mountainous area

2 气温变化

2.1 年际变化特征

与全球气温增暖同步,近几十年天山山区年平均气温呈现明显的上升趋势。天山南北坡气温的年际变化可以用气温与时序相关系数反映,选择天山山区不同区域 28 个水文、气象站点气温资料分析,天山南北坡绝大多数站点相关系数在 0.45 以上,通过了信度为 0.01 显著性检验,气温变化率为 $0.2\sim 0.6^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,其中位于天北坡中段的英雄桥站和位于天山南坡的头道沟站气温变化率分别为 $0.47/(10\text{ a})$ 、 $0.6/(10\text{ a})$,见图 2。

2.2 年代际变化特征

气温是水文循环中的动力因子,也是影响冰川和积雪消融的热力因子。对气温资料的分析结果显示,天山北坡 1960 年代气温比多年平均值偏低 0.2

$\sim 0.4^{\circ}\text{C}$, 70 年代偏低 $0.1\sim 0.3^{\circ}\text{C}$, 80 年代偏高 $0.2\sim 0.5^{\circ}\text{C}$, 90 年代偏高 $0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 。天山南坡上个世纪 60 年代、70 年代气温偏低,尤其 1970 年代气温偏低幅度较大,偏低 $0.5\sim 1.5^{\circ}\text{C}$,进入 1980 年代多数站气温为正距平,1990 年代气温升高 $0.5\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ 。用每隔 5 a 统计能更细地反映气温在不同

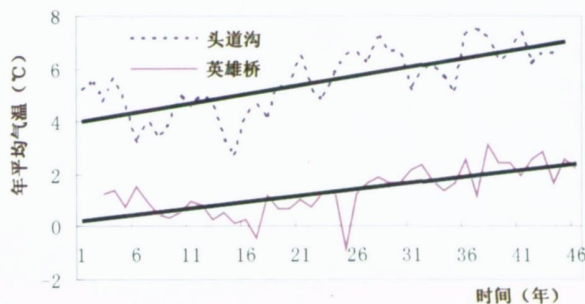


图 2 天山山区代表站年平均气温过程线图

Fig. 2 The change processes of yearly mean air temperature

of the representative stations in the Tianshan Mountains area.

时期的变化, 同时也能反映 21 世纪初以来气温变化情况。按每隔 5 a 统计, 天山北坡气温 1965~ 1980 气温处于偏低时期, 气温普遍偏低 0.5~ 0.8℃; 气温从 80 年代后期开始升高, 20 世纪 90 年代末至 21 世纪初气温偏高距平达 0.5~ 1.0℃, 高于全球平均

增温幅度^[11]。天山南坡气温变化与天山北坡同步, 1960~ 1985 年气温多数站为负距平, 从 1985 年后开始升温, 尤其是 1996~ 2005 年其间升温幅度达 0.5~ 1.5℃。受人为活动影响较小的出山口代表气象站气温年代际变化见表 1。

表 1 天山山区代表站气温的年代际变化表

Table 1 The decadel changes on the air temperature at the representative stations during different period in the Tianshan mountains area

站名	海拔 (m)	平均值 (℃)					多年平均 (℃)
		1960s	1970s	1980s	1990s	2000~ 2005	
肯斯瓦特	900	- 0.50	- 0.55	0.30	0.85	0.40	0.11
乌拉斯台	1 440	- 0.45	- 0.50	0.05	0.35	0.8	- 0.03
卡普其海	900	- 0.90	- 0.25	0.35	0.45	1.5	0.09
制材厂	1 400	- 0.35	0.00	0.15	0.20	0.50	0.04
精河山口	620	- 0.55	- 0.25	0.00	0.70	1.00	0.09
英雄桥	1 920	- 0.40	- 0.85	- 0.15	0.75	1.00	- 0.03
头道沟	1 400	- 0.75	- 1.2	0.55	0.95	1.2	0.03

站名	海拔 (m)	平均值 (℃)					多年平均 (℃)
		1960s	1970s	1980s	1990s	2000~ 2005	
卡拉贝利	1 900	- 0.50	- 0.05	0.05	0.25	0.70	0.02
兰干	1 280	0.15	- 0.15	- 0.20	0.90	1.10	0.28
大山口	1 340	- 0.35	- 0.50	0.15	0.70	0.10	0.01
制材厂	1 400	- 0.35	0.00	- 0.15	0.20	0.50	- 0.01
沙里桂兰克	2 000	- 0.05	- 0.15	- 1.1	1.30	1.50	0.17
开垦	1 520	- 0.3	- 0.30	- 0.25	- 0.35	0.70	- 0.19

2.3 区域性变化差异

天山山区气温变化有比较好的同步性, 但也存在明显的区域性差异。一是天山北坡升温时间早于南坡, 也即纬度高气温低的地域比纬度低气温高的地域升温早; 二是平原区多数站点从上个世纪 80 年代初开始升温, 比山区站点升温时间早, 如位于焉耆盆地的焉耆站从上个世纪 80 年代初开始升温, 其上游出山口大山口站从 1986 年起升温, 而位于山区的巴音布鲁克站从 1996 年后明显开始升温, 这也说明平原区人类活动加剧了温度变化。

3 降水变化

3.1 降水的趋势变化

1960 年以来天山山区代表性气象站的降水年代际变化过程见表 2。对上述气象站降水变化进行趋势分析, 降水与时序相关系数见表 3。从表 2 与表 3 中可以观察到, 天山南北坡除了乌鲁木齐河英雄桥站, 伊犁河卡甫其海站呈略下降变化外, 其余所有站点都呈略增加或增加的变化。总体上, 天山山区的降水变化有如下几个特点: (1) 上个世纪 80 年代末以来天山南坡的降水增加变化比北坡明显, 南坡 14 个站中有 7 个站降水与时序相关系数在 0.38 以上, 通过了信度为 0.01 显著性检验, 有 3 个站通

过了信度为 0.05 的显著性检验, 北疆 14 个站中仅有 7 个站通过了 0.05 的显著性检验; (2) 降水量显著增多的区域是乌鲁木齐河流域平原区, 乌鲁木齐站降水与时序相关系数达 0.79, 变化率为 33 mm / (10 a), 其次是天山南坡中低山带, 降水与时序相关系数达 0.4~ 0.59, 如开都河大山口站相关系数为 0.59, 变化率为 14 mm / (10 a); (3) 在不同空间, 降水趋势变化不一样, 天山南坡降水增加在中低山带、高山带增加不多, 如位于天山南坡西部的托云站相关系数只有 0.18, 开都河流域中山带的巴音布鲁克站相关系数为 0.07, 呈略增加的变化。在同一流域不同位置降水变化也不相同, 如乌鲁木齐河流域, 降水显著增加是在流域出山口以下平原区, 其次是高山区天山站, 出山口英雄桥站降水反而减少。

3.2 降水的年代际变化特征

按年代际进行统计, 1960~ 1970 年代天山山区大多数站与多年平均降水量相比, 降水呈负距平, 尤其是天山南坡降水偏少幅度达 15% 左右, 1980 年代有部分站转为正距平, 这段时期是降水由少到多的转折期。进入 1990 年代后天山南北坡绝大多数站降水呈正距平, 进入到降水增多时期。但从空间上看, 近 50 a 来降水年代际变化最大的区域在天山南坡, 偏多偏少幅度都最大。

表 2 20 世纪 60- 90 年代天山山区代表性气象站降水变化

Table 2 The changes on the precipitation at the sme representative stations in the Tianshan Mountains during the period from 1960s to 1990s

站名	海拔 (m)	平均值 (mm)				多年平均 (mm)
		1960 年	1970 年	1980 年	1990 年	
伊宁	770	244. 3	245. 6	289. 7	256. 3	269. 5
乌拉斯台	1440	510. 1	509. 8	572. 8	588. 3	545. 9
卡普其海	900	339. 1	320. 6	290. 9	321. 7	329. 9
精河	320	89. 8	87. 2	114. 5	105. 2	99. 1
精河山口	620	135. 0	118. 6	166. 0	152. 4	146. 6
英雄桥	1920	483. 3	461. 3	463. 9	443. 2	470. 0
石河子	443	202. 6	189. 2	204. 7	218. 8	206. 7
乌鲁木齐	654	194. 6	223. 5	289. 6	290. 6	259. 5
奇台	794. 2	163. 3	167. 3	190. 3	222. 1	186. 8
开垦	1520	556. 8	552. 8	610. 8	641. 7	590. 5
制材厂	1400	364. 0	332. 7	364. 7	383. 4	369. 2
肯斯瓦特	900	345. 7	305. 7	322. 9	337. 7	336. 0

站名	海拔 (m)	平均值 (mm)				多年平均 (mm)
		1960 年	1970 年	1980 年	1990 年	
头道沟	1400	79. 1	103. 4	123. 1	123. 3	106. 1
哈密	738	27. 8	37. 2	39. 1	38. 4	35. 9
阿拉沟	960	47. 3	40. 1	51. 9	45. 9	45. 9
巴音布鲁克	2458. 9	275. 0	265. 4	248. 2	298. 7	272. 5
大山口	1340	86. 9	96. 9	114. 2	136. 1	109. 3
鄯善	1056	66. 5	62. 2	88. 2	95. 9	74. 0
兰干	1280	103. 5	114. 6	134. 9	153. 5	126. 3
库车	1099	50. 3	61. 0	74. 8	75. 0	67. 3
沙里桂兰克	2000	155. 6	157. 1	185. 7	221. 8	178. 2
协合拉	1478	110. 9	127. 6	135. 7	136. 3	125. 0
卡拉贝利	1900	115. 1	106. 5	110. 3	153. 1	119. 0
阿克苏	1104	58. 1	71. 2	65. 6	87. 4	68. 5

以 5 a 为时段进行统计分析可以清楚地显示,天山山区 1960~ 1980 年代中期为降水偏少时期,从 1980 年代中期始降水转为偏多,天山北坡出山口一带除乌鲁木齐河英雄桥降水偏少外,其余各站偏多 10%。平原区 1980 年代后期降水偏多,1990 年代前期降水偏少,从 1996~ 2005 年降水又偏多,偏多幅度达 10% ~ 25%。近 10 a 天山南坡降水明显比北坡偏多,多 15% ~ 60%,其中南坡西部与帕米尔交界处偏多幅度达 40% ~ 60%,是天山山区近 10 a 降水偏多最多的区域,如托什干河沙里桂兰克站和克孜河卡拉贝利站(图 3)。该区域是水汽顺着河谷进入南疆的主要通道,由于 1980 年代末以来,南风分量偏强,有利于南来水汽向北输送,造成该区域降水量偏多^[10]。而降水偏多区域又主要发生在中低山带,高山区降水偏多幅度在 10% ~ 15%,如位于

克孜河和托什干河源头附近的托云气象站(海拔 3 505 m)降水 1990 年代偏多 15%,2000~ 2005 年偏多 5%,而位于出山口附近(海拔 1 900 m)的卡拉贝利站 1990 年代偏多 33%,2000~ 2005 年偏多 51%,远比高山区偏多幅度大。

4 出山径流量的变化

径流量的变化主要受气候条件与人类活动(主要表现在对流域下垫面的综合作用上)的影响。山区流域人类活动的影响相对较小,影响径流变化的主要因素是气候变化。

4.1 出山径流的年代际变化特征

由于河川径流来主要源于大气降水,故径流量变化与降水变化基本一致。分析表明,天山北坡 1960~ 1990 年代的径流量偏少 5% 左右,自 1996 年以后,大多数河流出山径流量呈增加变化,增加幅度为 10% ~ 20%,天山北坡中东段少数河流径流量呈略减少变化,如乌鲁木齐河英雄桥站 2001~ 2005 年径流量偏少 6%,开垦河偏少 10%。天山南坡大多数河流 1960~ 1980 年代中期偏少 10% 左右,其中段 1970~ 1980 年代甚至偏少幅度达 20% 左右,从 1980 年代中期始,径流量明显呈增加的变化,增加幅度 20% 左右,近 10 a 位于天山南坡中西段受降水影响较大的河流,如阿拉沟、黄水沟、开都河、库车河、托什干河增加幅度达 30% 以上,天山山区主要河流出山径流量年代际变化距平百分率见表 4。

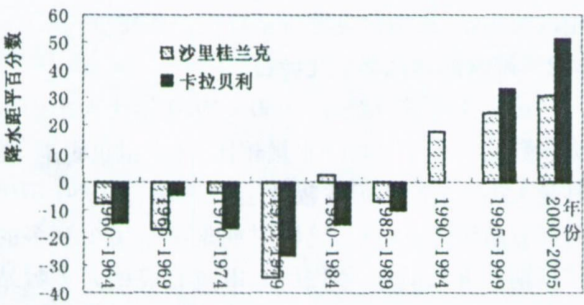


图 3 天山山区南坡代表站历年降水距平百分率

Fig 3 The percent of precipitation departure of the representative station on the south slope of the Tianshan mountainous area in the past years

表 3 天山山区代表站降水与时序相关系数表

Table 3 The correlation coefficients between precipitation and time series of the representative station in the Tianshan mountainous area

地区	站名	高程 (m)	r	地区	站名	高程 (m)	r
伊宁	伊宁	770	0.4	哈密	哈密	738	0.36
新源	卡甫其海	900	0.03	哈密	头道沟	1400	0.45
尼勒克	乌拉斯台	1440	0.35	温宿	协合拉	1427	0.19
精河	精河	320	0.41	和静	阿拉沟	1000	0.09
精河	精河山口	620	0.41	和静	巴音布鲁克	2458	0.07
乌苏	吉勒德	1050	0.03	和静	大山口	1340	0.59
石河子	石河子	443	0.24	焉耆	焉耆	1056	0.38
石河子	肯斯瓦特	900	0.03	库车	兰干	1280	0.43
乌鲁木齐	乌鲁木齐	654	0.79	库车	库车	1099	0.41
乌鲁木齐	英雄桥	1920	0.3	阿克苏	阿克苏	1104	0.33
乌鲁木齐	天山	3539	0.36	阿合奇	沙里桂兰克	1909	0.43
乌鲁木齐	小渠子	2160	0.19	阿合奇	阿合奇	1985	0.34
奇台	开垦	1520	0.21	乌恰	卡拉贝利	1900	0.45
奇台	奇台	794	0.22	乌恰	托云	3505	0.18

表 4 天山山区主要河流出山径流量年代际变化距平百分率

Table 4 The decadal departure percent the runoff in the some main rivers in the Tianshan mountainous area

河流. 水文站	距平 (%)					河流. 水文站	距平 (%)				
	1960年	1970年	1980年	1990年	2000~ 2005年		1960年	1970年	1980年	1990年	2000~ 2005年
特克斯河. 卡甫其海	-0.5	-6.5	-7.5	2.5	18.0	阿拉沟. 阿拉沟	-16.5	-10.5	-17.5	27.0	37.0
喀什河. 乌拉斯台	0.5	-6.0	-7.0	1.0	13.0	黄水沟. 黄水沟	-7.5	-15.5	-20.0	31.5	23.0
精河. 精河山口	-2.0	-5.0	2.5	2.0	2.0	开都河. 大山口	-4.5	-5.5	-13.0	12.0	18.0
四棵树河. 吉勒德	-2.0	-7.0	-1.0	4.5	16.0	库车河. 兰干	-17.0	-15.5	-1.5	19.0	30.0
玛纳斯河. 肯斯瓦特	0.0	-9.5	6.5	13.5	13.0	渭干河托克逊	-3.5	-6.0	-0.5	3.5	19.0
头屯河. 制材厂	-0.05	-6.0	-7.5	6.0	2.0	台兰河. 台兰	-6.5	-8.0	-0.5	14.0	1.0
乌鲁木齐河. 英雄桥	-4.5	-4.0	-10	13.5	-6.0	力克河. 协合拉	-6.0	-4.5	-2.5	13.0	13.0
开垦河. 开垦	-0.3	-4.5	3.5	3.0	-10	托什干河. 沙里桂兰克	0.5	-10.0	-9.5	10.5	33.0
石城子河. 石城子	-22.3	10.0	10.0	3.0	4.0	克孜河卡拉贝利	-8.0	-4.5	0.5	5.5	16.0
克斯河. 卡甫其海特	-0.5	-6.5	-7.5	2.5	18.0	阿拉沟. 阿拉沟	-16.5	-10.5	-17.5	27.0	37.0

4.2 径流的年际变化特征

天山山区径流的年际变化有如下特点: (1)天山南坡是天山山区径流量增加的高值区。其原因天山南坡下垫面植被条件差, 气候相对北坡干燥, 气候变暖增湿对小河流域较敏感, 1980年代以来气温升高增加了冰雪融水量^[12], 1980年代中期以来降水的增加补充了河流径流量, 使得发源于南坡的河流年径流量增加幅度显著。(2)天山北坡径流量显著增加时间比南坡晚, 从北坡代表站分析多数站自1996年后开始显著增加, 南坡多数站是从1987年后开始增加(图4)。(3)近10 a来天山山区径流量

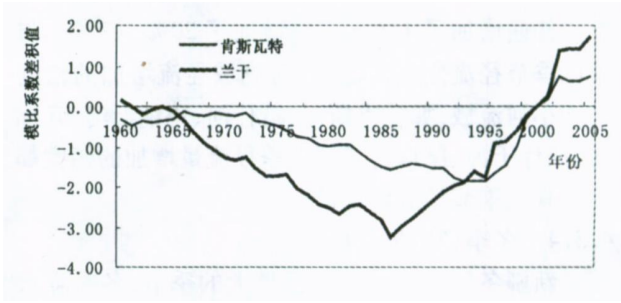


图 4 天山山区南、北坡代表站年径流量模比系数差积曲线图

Fig 4 The mass curve of runoff modulus residual of representative station on the north and south slope of the Tianshan mountainous area

增加幅度非常明显,天山北坡的河流径流量普遍比1960~1980年代增加了10%~20%,南坡增加了20%~40%,少数河流高达60%~70%,如阿拉沟、黄水沟1996~2005年平均年径流量比1960~1995年分别增加了63%和70%。(4)流域面积大,冰川储量丰富的河流年径流量呈稳定增加状态,如特克斯河、喀什河、玛纳斯河、开都河、昆玛力克河、托什干河、克孜河流域面积都在5000 km²以上,冰川面积在500 km²以上,近10 a都比较稳定地保持在偏多15%以上。

4.3 出山径流的季节性变化

4.3.1 春季径流量变化

春季径流量与冬季积雪和春季降水有关。天山北坡在1990年代降水增加以来,春季径流量也普遍稳定增加15%左右,少数河流增加幅度高达30%,如位于天山西部的特克斯河增加了32%。天山南坡从1990年代初始,春季径流量大多数河流转为正距平,1990年代末至2005年增加较明显,多数河流增加幅度达15%以上,少数河流高达40%,如受降水影响大的阿拉沟和托什干河2001~2005年春季径流量增加幅度分别为49%和47%。

4.3.2 夏季径流量变化

夏季降水和气温都影响径流的产生。从18条河流夏季径流变化看,从1990年代起夏季径流量是四季中增加最多的,与夏季降水相对应,天山北坡增加了15%~20%,南坡普遍增加了20%~40%,南坡中段小河流域增加的幅度最大,如阿拉沟、黄水沟、台兰河增加的幅度为40%~60%。

4.3.3 秋季径流量变化

秋季径流量受流域退水和秋季气温、降水影响。1980年代以来秋季增温仅次于冬季,延长了冰雪融化期。1990年代末至2005年,天山北坡的秋季径流量普遍增加了15%,南坡增加了20%~30%,与其他季节径流变化相比,大河流域径流增加的幅度大于小河流域,如特克斯河、喀什河、玛纳斯河、开都河、托什干河、昆玛力克河秋季径流量增加的幅度都大于其他季节径流增加量。

4.3.4 冬季径流量变化

新疆冬季是四季中增温最大的季节,冬季降水量也是四季中增幅较大的,尤其是天山南坡冬季降水量增加了10%~15%。受其影响,天山南、北坡冬季径流量从1990年代初以来呈稳定上升的变化,按每5 a进行统计,2001~2005年年平均径流量比

1996~2000年多15%~30%,1996~2000年年平均径流量比1991~1995年多5%~20%。

5 结语

1. 天山山区气温变化与全球升温有很好的—致性,平均气温变化率为0.2~0.6℃/(10 a),且平原区升温早于山区。上世纪90年代至21世纪初天山山区升温最为显著,升幅为0.5~1.5℃,是近50 a增温最高时期;

2. 天山山区降水变化没有气温变化明显。相对而言,天山南坡降水增幅高于北坡,尤其是南坡西段是近10 a降水偏多最多区域,依据少数高山站降水资料分析,南坡中低山带降水增幅大,高山区降水增幅小,北坡降水空间变化较复杂。

3. 天山山区的各个时段的出山径流量总体上呈增加的趋势,且南坡早于北坡。南坡从1980年代后期开始增加,北坡1996年后有显著增幅。近10 a来南坡中西段河流出山径流量增加幅度在30%以上,尤其是流域面积大,冰川储量大的河流呈稳定增加。相对而言,春、夏季南坡以降水补给为主的小河流域径流增幅较大,秋季面积大、冰川分布广的河流径流增幅较大,而在冬季、南北坡所有河流径流均有较大增幅。

参考文献 (References)

- [1] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J *et al* (Eds). Climate Change 2001: The Scientific Basis [C]. UK: Cambridge University Press, 2001. 944
- [2] Liu Xiaodong, Chen Baode. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades [J]. *Intern. J. Climatol.* 2000, 20: 1729~1742
- [3] Liu Xiaodong, An Zhisheng, Fan Jiangang *et al*. Possible variations of precipitation over the Yellow River valley under the Global warming condition [J]. *SCIENTIFIC GEOGRAPHICA SINICA*, 2002, 22 (5): 514~519 [刘晓东, 安芷生, 方建刚, 等. 全球变暖条件下黄河流域降水的可能变化 [J]. *地理科学*, 2002, 22 (5): 514~519]
- [4] Hu Ruji, Jiang Fengqing, Wang Yajun, *et al*. A study on signals and effects of climatic pattern change from warm-dry to warm-wet in Xinjiang [J]. *ARID LAND GEOGRAPHY*, 2002, 25 (3): 194~200 [胡汝骥, 姜逢清, 王亚俊, 等. 2002 新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响 [J]. *干旱区地理*, 2002, 25 (3): 194~200]
- [5] Yuan Yujia, He Qing, Mu Guijin. Summer Precipitation Change for Recent 40 Years in the Tianshan Mountain and Compared with Southern and Northern Xinjiang Region [J]. *JOURNAL OF GLACIOLOGY AND GEOCRYOLOGY*, 2003, 25 (3): 331~336 [袁玉江,

- 何清,穆桂金.天山山区近 40 a 夏季降水及与南北疆的比较 [J]. 冰川冻土, 2003, 25(3): 331~336]
- [6] He X inling Guo ShengL in The development and testing of a runoff model——water balacen for Tianshan mountain [J]. *Water Resources and Water Engineering*, 1996, 7(3), : 8~15[何新林,郭生练.天山山区水平衡法径流模型的研究[J]. 西北水资源与水利工程, 1996 7(3), : 8~15]
- [7] Geography Academy For Xinjiang(Eds), Geography Handbook of Xinjiang[M]. Ununqi Xinjiang Peoples Publishing Company, 1993. 84~94[新疆地理学会.新疆地理手册[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社, 1993. 84~94]
- [8] Xinjiang Water Conservancy Office, Water Conservancy Academy For Xinjiang(Eds). River Hydrology and Water Resources in Xinjiang[M]. Ununqi Xinjiang Science Technology and Sanitation Publishing Company, 1999 333~429[新疆水利厅,新疆水利学会,新疆河流水文水资源[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社, 1999. 333~429]
- [9] Deng Mingjiang Wang Shijiang Dong X inguang *et al* The Water Resources and It continuable Utilization in Xinjiang [M]. Beijing Chinese Water Conservancy and Electricity Publishing Company, 2005 150~167[邓铭江,王世江,董新光,等.新疆水资源及可持续利用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005 150~167]
- [10] Hu Ruji Jiang Fengqing Wang Y ajun Assessment on the glacial water resources in Xinjiang China[J]. *ARID ZONE RESEARCH*, 2003 20(3): 187~188[胡汝骥,姜逢清,王亚俊.新疆雪冰水资源的环境评价[J]. 干旱区研究, 2003 20(3): 187~188]
- [11] Li Dongliang Wei Li Cai Ying *et al* The present facts and the future tendency of the climate change in northwest China[J]. *JOURNAL OF GLACIOLOGY AND GEOCRYOLOGY*, 2003 25(2), 135~142[李栋梁,魏丽,蔡英,等.中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 135~142]
- [12] Shen Yongping, Liu Shiyin, Ding Yongjian, *et al* Glacier mass balance change in Tianshan River watersheds on the south slope of the Tianshan mountains and its impact on water resources [J]. *JOURNAL OF GLACIOLOGY AND GEOCRYOLOGY*, 2003 25(2): 126~129[沈永平,刘时银,丁永建,等.天山南坡台兰河流域冰川物质平衡变化及其对径流的影响[J]. 冰川冻土, 2003 25(2): 126~129]

Characteristics and Trends of Changes on Water Cycle Factors in the Tianshan Mountainous Area since 1960s

LAN Youghao¹, WU Sufen², ZHONG Yingjun³, HAN Ping¹, ZHAO Qi¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences Lanzhou 730000 China;

2. Xinjiang Bureau of Hydrology and Water Resources Ununqi 830000 China; 3. Xinjiang Water Conservancy and Electricity School, China)

Abstract The Tianshan mountainous area have being one of the main contributing regions of the surface runoff in Xinjiang because the especial geography and high altitude. Global warming brings an important impact to the water cycle factors such as air temperature, precipitation and runoff and so on in the area in the recent decades years. Characteristics and Trends of Changes on some water cycle factors in the Tianshan mountainous area since 1960s are analyzed based the observational data of precipitation, temperature and runoff at 38 hydrometric stations in the Tianshan mountainous. The result indicated the temperature and precipitation in the area presents an increasing trend since the 1980s, especially the rise extent of air temperature is more obvious in the recent ten years owing to the impact of Global warming. But As for precipitation, its increasing extent in the south slope of the Tianshan Mountains is larger than that in the north slope and the that on west part of the south slope is the largest in the recent decade. Impacted by the temperature rising and the precipitation increasing, the runoff from the Tianshan Mountainous area has been presenting the increasing trend, and the runoff in the mid and the west parts of the south slope in the recent decade is the most obvious, which average increasing extent is above 30%.

Key words global warming; water cycle; runoff from mountainous area