

文章编号:1000-0240(2006)03-0307-05

近 50 a 西北地区年径流变化反映的区域气候差异

叶柏生¹, 丁永建¹, 杨大庆², 韩添丁¹, 沈永平¹

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. University of Alaska Fairbanks, AK99775, USA)

摘 要: 应用我国西部主要河流 1951—2000 年年径流资料, 分析径流变化的区域特征. 结果表明: 中国西部地区大部分河流径流呈增加趋势, 特别是天山南坡逐河增加最为显著, 最高达 $14\% \cdot (10a)^{-1}$, 其年径流的变化过程相关分析和差积曲线显示, 西北地区西部新疆地区与东部的黄河上游年径流变化呈反相变化特征, 而西北地区东部河流径流变化则与黄河上游的径流呈正相关关系. 西北地区东部黄河年径流和西北太平洋夏季季风指数及其差积曲线表现一致的变化过程, 这表明了黄河上游径流变化主要受东亚季风的影响, 同时由于东亚季风与西风在西北地区的相互作用, 间接的影响到了新疆地区的径流和降水. 这从一个侧面反映的西风带、东亚季风和高原季风的相互作用.

关键词: 年径流变化; 亚洲季风指数; 西北地区

中图分类号: P339 **文献标识码:** A

1 引言

我国西北内陆干旱区, 水资源是社会经济发展的关键制约因素, 而水资源主要来源于周围的山地, 山区径流变化将直接影响社会经济活动, 另一方面径流变化是全球变化的一个重要部分. 就全球而言, 全球气候变暖的必然结果是降水的增加, 在 20 世纪, 陆地降水增加了约 $2\%^{[1-2]}$. 这种增加在统计上具有显著性, 但在空间和时间上则缺乏一致性^[3-4]. 在长期径流观测资料的基础上, 已经有众多有关区域以至全球径流变化的研究成果^[5-11]. 研究表明^[5], 全球径流随全球温度升高而增加, 增加幅度在 $4\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, 亚洲和美洲的河流径流波动比较一致, 而与欧洲河流的径流变化相反, 亚洲河流径流 1925—1994 年表现为增加. 在最近 70 a (1934—2000 年), 北极圈主要河流的径流表现为增加趋势^[6]. 同时, 注重人类活动对径流影响的研究^[10, 12-13]. 近 50 a 来我国北方的河流如黄河、松花江、长江上游和珠江等表现为减少趋势, 但长江下游则为增加趋势^[14]; 刘春蓁等^[15]利用 100 多年的径流观测资料从水资源利用和管理角度研究了珠江

和长江上游年径流的变异和变化趋势. 西北地区西部河流径流主要表现为增加趋势^[16-17], 近十几年来西北大部分地区气候环境悄然发生重大变化, 出现了降水与径流增加、冰川消融加速、湖泊水位上升、大风与沙尘暴日数减少、植被有所改善等现象. 据此, 施雅风等^[18]提出了西北气候可能正由暖干向暖湿转型, 并划分出显著转型区、轻度转型区和未转型区. 最近 50 a 和 100 a 降水变化结果已经表明了西北地区东西部表现为相反的变化趋势, 但缺乏系统比较区域内径流变化过程差异性. 本文在上述西北地区气候转型研究结果基础上, 探讨径流的区域变化差异以及与东亚季风特征的关系.

2 研究方法和数据

2.1 研究方法

利用线性回归来研究长期的气候变化是目前比较流行的估计气候变化幅度的方法, 本文采用这一方法来确定最近 1951—2000 年来我国西北地区内陆河山区或出山口站实测径流的变化趋势, 了解径流在区域上的变化差异. 在此基础上通过对比径流差积曲线来了解径流的丰枯变化及其在区域上差异

收稿日期: 2005-10-15; 修订日期: 2005-12-23

基金项目: 中国科学院重要方向性项目 (KZCX3-SW-345); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所人才基金项目 (2004116); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程前沿项目 (2004102) 资助

作者简介: 叶柏生 (1964—), 男, 甘肃武威人, 研究员, 1994 年在中国科学院兰州冰川冻土研究所获博士学位, 现主要从事寒区水文研究. E-mail: yebs@lzb.ac.cn

性,并进一步了解径流变化与亚洲季风的关系。

2.2 数据

本文研究主要是我国西北地区河流,包括内陆河、黄河以及额尔齐斯河等河流,选取出山口及其以上流域受人类活动较少的 99 个水文站 1951—2000 年的年径流资料,台站分布见图 1。东亚夏季季风指数则取自 Wang *et al.*^[19] 的西北太平洋夏季季风指数。

3 年径流变化

3.1 年径流变化趋势

根据 1951—2000 年中国西部地区河流年径流资料,用线性回归方法分析径流的变化趋势,分析结果如图 1。结果表明:由于西北气候的暖湿化转型,大部分河流径流呈增加趋势,特别是天山南坡诸河流增加最为显著,最高达 $14\% \cdot (10a)^{-1}$;天山北坡东段和柴达木盆地和河西走廊西部河流表现为不显著的增加趋势,河西走廊东段则为减少趋势;阿勒泰地区和昆仑山北坡则有增有减;黄河流域上游青藏高原区为不显著的增加,上游的中下部(唐乃亥站以下)则为减少趋势。这一变化的区域特征基本上与年降水量的变化特征一致(图 2)。图 2 表明 $103^\circ E$ 以西大部分地区降水表现为增加,其中以天山南坡等增幅较大,超过 $10\% \cdot (10a)^{-1}$,这表明西北地区西部以变湿为特征。而东部为变干特征,西北地区东部变干区则主要是亚洲季风峰面过渡带内降水减少区的一部分。从径流和降水变化表

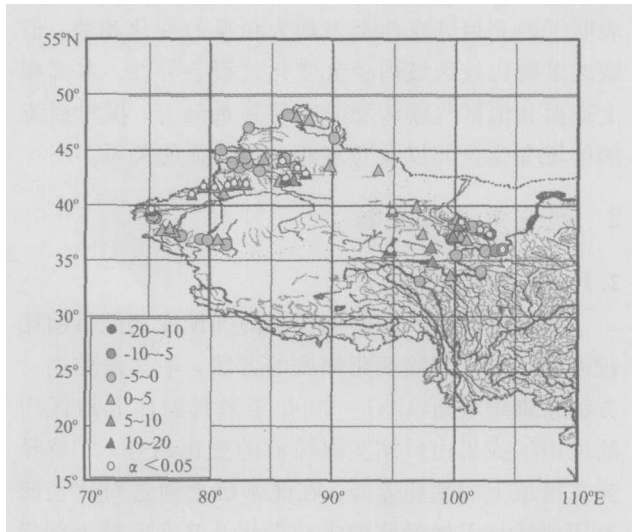


图 1 1951—2000 年西北地区主要河流径流变化趋势
[$\% \cdot (10a)^{-1}$]

α 表示通过 95% 信度

Fig. 1 The linear changing trends of annual discharge of major rivers in Northwest China, 1951—2000 [$\% \cdot (10a)^{-1}$]

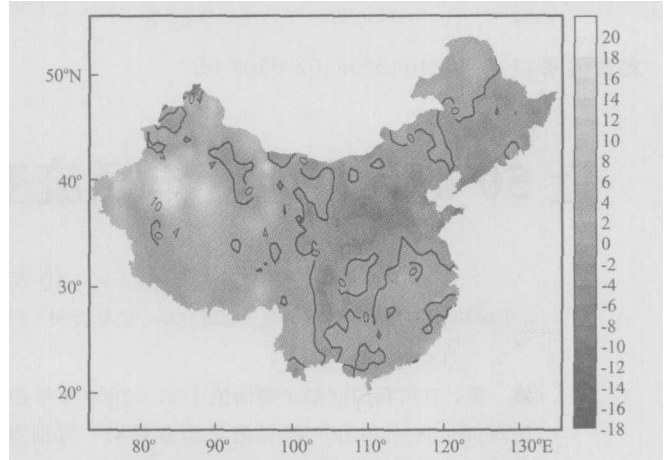


图 2 1951—2000 年全国降水变化趋势
等值线图 [$\% \cdot (10a)^{-1}$]

Fig. 2 The isolines of annual precipitation linear changing trends over China, 1951—2000 [$\% \cdot (10a)^{-1}$]

明了西北地区降水变化的东西反相变化特征,这一点已经从个别台站和区域降水变化的对比中有所表现^[20-22]。

3.2 新疆与黄河上游径流变化的差异

为研究西北地区西部和东部径流变化的差异,在此分别选取新疆全疆总径流^[17]和黄河上游唐乃亥站年径流来研究变化的差异性。图 3 给出了新疆和黄河上游年径流过程、二次曲线拟合以及距平差积曲线,新疆总径流约在 1987 年开始转向正距平^[18],而黄河则在 1989 年开始转向负距平。尽管从年际变化看,具有一定的负相关关系(相关系数 $R = -0.31, \alpha > 95\%$),从二次曲线拟合看,二者的变化呈相反的变化趋势,这表明了二者具有年代际的反位相变化特征。为更清楚的表现这种变化差异性,图 4 给出了二者的年径流及距平累积曲线,从图中可以看出,二者几乎呈完全反位相的变化过程,从西北地区河流年径流量与黄河上游唐乃亥站年径流的相关关系则更进一步表明了这种区域性的反位相变化趋势(如图 5)。这种反位相变化趋势主要表现在新疆中北部和西北地区东部地区,这表明了处在西风带影响范围的新疆北部和东亚季风边缘的黄河上游降水变化具有完全相反的变化趋势,表现出西风和东亚季风在这一地区处在你强我弱,你弱我强的相互作用过程,与黄河径流的正负相关区正好与施雅风等^[18]提出的西北地区西部气候显著暖湿转型区和东部未转型区相一致。

3.3 黄河上游径流变化与东亚夏季季风指数之间的关系

为寻找径流变化原因,选择亚洲季风指数与年

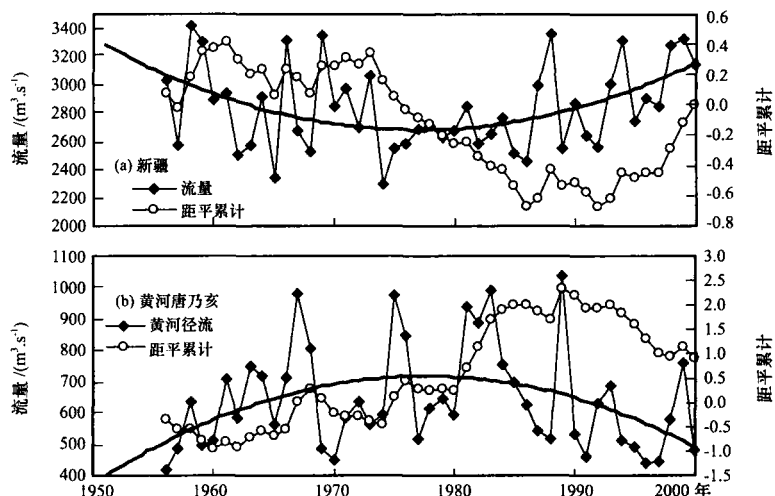


图 3 新疆总径流(a)与黄河上游径流(b)变化

Fig. 3 Variations of annual discharges of total Xinjiang Region (a) and in the upper Yellow River (b), 1951–2000

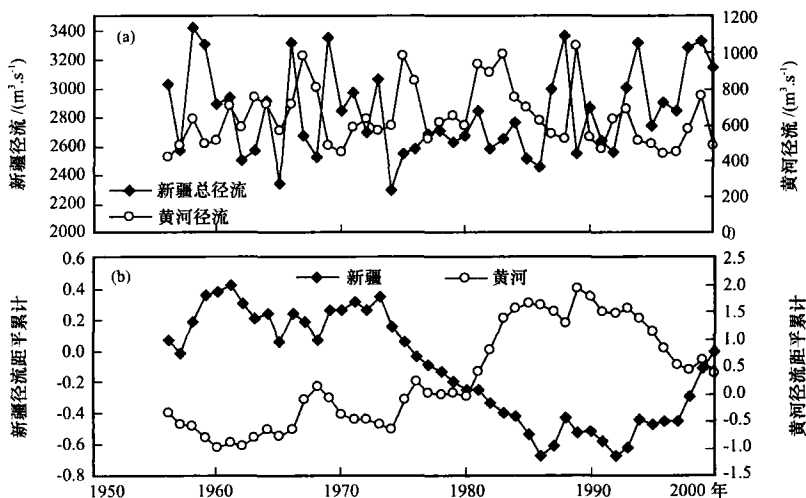


图 4 新疆和黄河上游年径流(a)及其距平累积曲线(b)对比

Fig. 4 Variations of annual discharges (a) and their residual mass (b) of total Xinjiang Region and at Tangnag Station of the upper Yellow River, 1951–2000

径流进行对比, 亚洲季风指数选用 Wang *et al.*^[19] 的西北太平洋夏季季风指数. 图 6 给出了黄河上游年径流和西北太平洋季风指数, 从年际关系看二者有显著的正相关关系 (相关系数 $R = 0.42$, $\alpha > 99\%$), 但从差积曲线看两者的变化过程更为一致 ($R = 0.84$). 这表明了尽管黄河上游主要处在高原季风区, 但径流的变化主要受东亚季风的影响, 同时由于东亚季风与西风在西北地区的相互作用, 间接的影响到了新疆地区的径流和降水, 这从一个侧面反映了西风带、东亚季风和高原季风的相互作用.

4 结论

1951–2000 年中国西部地区大部分河流径流呈增加趋势, 特别是天山南坡逐河流增加最为显著, 最高达 $14\% \cdot (10a)^{-1}$; 天山北坡东段、柴达木

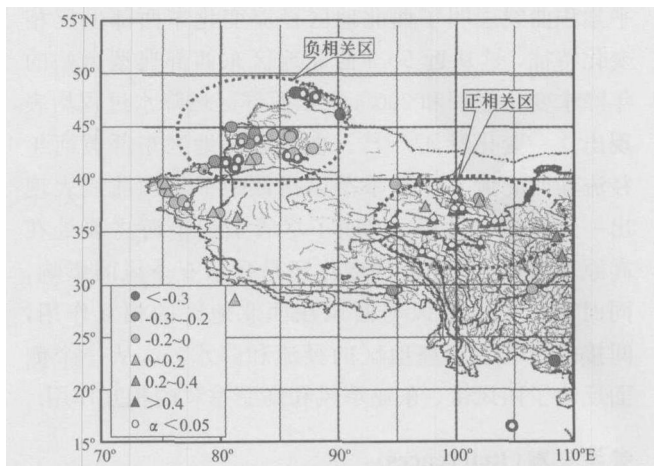


图 5 1951–2000 年间黄河上游唐乃亥站年径流与我国西部河流年径流量之间的相关系数
 α 表示通过 95% 信度

Fig. 5 Correlation coefficients between the annual discharge at Tangnag Station of the upper Yellow River and the annual discharge of the rivers in Northwest China, 1951–2000

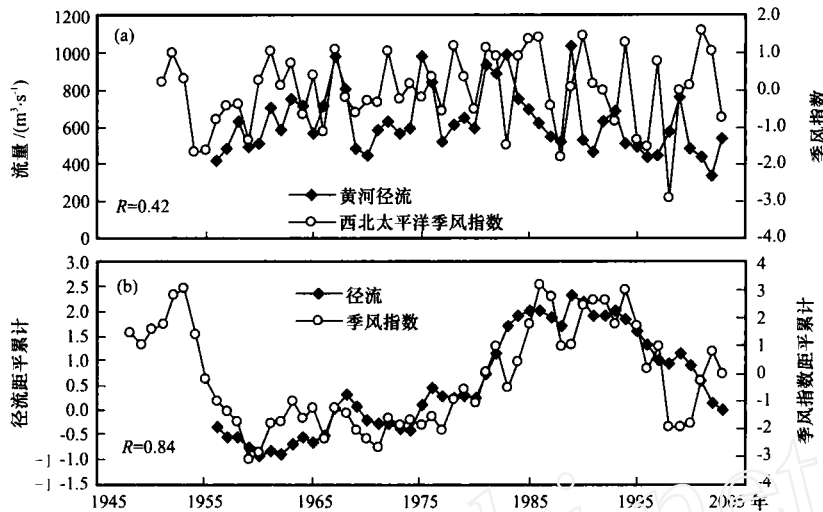


图6 黄河上游年径流与东亚夏季季风指数(a)变化及其距平累积曲线(b)

Fig.6 Variations of annual discharge at Tangnag Station of the upper Yellow River and East Asian summer monsoon index (a) and their residual mass curves (b)

盆地和河西走廊西部河流表现出不显著的增加趋势；而天山北坡西段和河西走廊东段则为减少趋势，阿勒泰地区和昆仑山北坡则有增有减，黄河流域上游青藏高原区为不显著的增加，上游的中下部(唐乃亥站以下)则为减少趋势。这一变化的区域特征基本上与年降水量的变化特征一致(图2)， 103°E 以西大部分地区降水表现为增加，其中以天山南坡等增幅较大，超过 $10\% \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。这表明，西北地区西部以变湿为特征，而东部则以变干为特征，转变时间在1987—1989年。从全国降水变化趋势看，西北地区东部变干区则主要是亚洲季风峰面过渡带内降水减少区的一部分。从年径流的变化过程和距平累积曲线表明了西北地区径流变化东西部呈反相变化特征，这从近50a西北地区东西部典型台站的年降水变化过程和200a来东西部区域降水过程均表现出这一变化特征^[20-22]。但从西北地区东部黄河年径流和西北太平洋夏季季风指数距平累积曲线表现出一致的变化过程，表明了尽管黄河上游主要处在高原季风区，但径流的变化还是受东亚季风的影响，同时由于东亚季风与西风在西北地区的相互作用，间接的影响了新疆地区的径流和降水，这从一个侧面反映了西风带、东亚季风和高原季风的相互作用。

参考文献(References)：

- [1] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations [J]. *Journal of Climatology*, 1996, **16**: 361 - 377.
- [2] Hulme M, Osborn T J, Johns T C. Precipitation sensitivity to global warming: comparison of observation with HadCM2 simulation [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **25**: 3 379 - 3 382.
- [3] Karl T R, Knight R W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the USA [J]. *Bull. Am. Met. Soc.*, 1998, **79**: 231 - 241.
- [4] Doherty R M, Hulme M, Jones C G. A gridded reconstruction of land and ocean precipitation for the extended Tropics from 1974 - 1994 [J]. *Int. J. Climatol.*, 1999, **19**: 119 - 142.
- [5] Labat D, Godderiset Y, Probst J, *et al.*. Evidence for bloble runoff increase related to climate warming [J]. *Advances in Water Resources*, 2004, **27**: 631 - 642.
- [6] Peterson B, Holmes R, McClelland J, *et al.*. Increasing river discharge to the Arctic Ocean [J]. *Science*, 2002, **298**: 2 171 - 2 173.
- [7] Pekarova P, Miklanek P, Pekar J. Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th - 20th centuries [J]. *J. of hydrology*, 2003, **274**: 62 - 79.
- [8] Yang D, Ye B, Shiklomanov A. Streamflow characteristics and changes over the Ob River watershed in Siberia [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2004, (5): 595 - 610.
- [9] Yang D, Ye B, Kane D. Streamflow hydrology changes over Siberian Yenisei River basin [J]. *Journal of Hydrology*, 2004, **296**: 59 - 80.
- [10] Ye B, Yang D, Kane D. Changes in Lena River streamflow hydrology: human impacts vs. natural variations [J]. *Water Resources Research* 2003, **39**(7): 1 200 - 1 224.
- [11] Zhang X, Harvey K D, Hogg W D, *et al.*. Trends in Canadian streamflow [J]. *Water Resour. Res.*, 2001, **37**: 987 - 998.
- [12] Chen X, Zong Y, Zhang E, *et al.*. Human impacts on the Changjiang (Yangtze) River basin, China with special reference to the impacts on the dry season water discharge into the sea [J]. *Geomorphology*, 2001, **41**: 111 - 123.
- [13] Ren Liliang, Wang M, Li C, Zhang W. Impacts of human ac-

- tivity on river runoff in northern area of China [J]. *J. Hydrology*, 2002, **261**: 204 - 217.
- [14] Ye Baisheng, Li Chong, Yang Daqing, *et al.* The variation trend of precipitation in China during the last 50 years and its impacts on water resources [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, **26**(5): 587 - 594. [叶柏生, 李翀, 杨大庆, 等. 我国过去 50 a 来降水变化趋势及其对水资源的影响 (I): 年系列[J]. 冰川冻土, 2004, **26**(5): 587 - 594.]
- [15] Liu Chunzhen, Yang Jianqing. A study of the trend of variability and change of annual runoff in Southwest China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2002, **7**(4): 416 - 422. [刘春臻, 杨建青. 我国西南地区年径流变异及变化趋势研究[J]. 气候与环境研究, 2002, **7**(4): 416 - 422.]
- [16] Lan Yongchao, Ding Yongjian, Shen Yongping, *et al.* Responding of river streamflow to the climate shift in the Hexi inland region [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 183 - 187. [蓝永超, 丁永建, 沈永平, 等. 河西内陆河流域出山径流对气候转型的响应[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 192 - 197.]
- [17] Zhang Guowei, Wu Sufen, Wang Zhijie. The signal of climatic shift in Northwest China deduced from river runoff change in Xinjiang region [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 183 - 187. [张国威, 吴素芬, 王志杰. 西北气候环境转型信号在新疆河川径流变化中的反映[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 183 - 187.]
- [18] Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, *et al.* An Assessment of the Issues of Climatic Shift from Warm-Dry to Warm-Wet in Northwest China [M]. Beijing: Meteorological Press, 2003. [施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北地区气候由暖干向暖湿转型问题的评估[M]. 北京: 气象出版社, 2003.]
- [19] Wang B, Wu R, Lau K-M. Interannual variability of the Asian summer monsoon: contrasts between the Indian and the Western North Pacific-East Asian monsoons [J]. *J. Climate*, 2001, **14**(20): 4 073 - 4 090.
- [20] Cong Lianchun, Zhang Cunjie, Changing features of precipitation over Northwest China during the 20th century [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 143 - 148. [宋连春, 张存杰. 20 世纪西北地区降水量变化特征[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 143 - 148.]
- [21] Zhang Cunjie, Gao Xuejie, Zhao Hongyan. Impact if global warming on autumn precipitation in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 135 - 148. [张存杰, 高学杰, 赵红岩. 全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(2): 157 - 164.]
- [22] Li Dongliang, Wei Li, Cai Ying, *et al.* The present facts and future tendency of the climate change in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(2): 135 - 148. [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 - 148.]

Regional Parttens of Climate Change in Northwest China during the Last 50 Years Viewed from Annual Discharge Change

YE Bai-sheng¹, DING Yong-jian¹, YANG Da-qing², HAN Tian-ding¹, SHEN Yong-ping¹

(1. Cold and Arid regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China;

2. Water and Environment Research Center, University of Alaska Fairbanks, A K99775, USA)

Abstract: The water resources are one of the key factors to restrict the development of economy and society in Northwest China, and so its research is very important. In this paper the regional characteristics of climate change are analyzed from the annual discharge change using the annual discharge data at the main rivers over the Northwest China during the last about 50 years. The increased discharge occurred at most rivers over the Northwest China during the last 50 years, especially at some rivers in south slopes of the Tianshan Mountains, where the maximum increasing rate reached $14\% \cdot (10a)^{-1}$. The annual discharge and its residual mass curves show that the discharge have a inverse relationship between Xijjiang Region, the west part of Northwest China, and the upper Yellow

river, East part of the Northwest China. The correlation of annual discharge between the upper Yellow River and other main rivers in Northwest China shows that there is a significant negative correlation in the middle and northern areas of Xinjiang Region, while there is a positive correlation in east regions of the Northwest China. A further analysis shows that the annual discharge of the upper Yellow River has good relationship with the index of western North Pacific summer monsoon. This implies that the discharge/precipitation in the middle and northern Xinjiang Region affected by the westerly is also affected by the Asian monsoon, or by the interaction of westerly and Asian monsoon.

Key words: annual Runoff change; Asian Monsoon; Northwest China