文章编号: 1000-0240(2008)04-0556-06

100 多年来东亚地区主要河流径流变化

叶柏生¹, 陈 鹏², 丁永建¹, 杨大庆³, 李 翀⁴, 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. 乌鲁木齐市气象局,新疆 乌鲁木齐 830002;
- 3. Water and Environmental Research Center, Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks A K 99775, USA; 4. 中国水利水电科学研究院 水环境研究所, 北京 100038)

摘 要:应用东亚地区 8 条主要河流 100 多年来的径流观测资料,用线性趋势分析不同时段径流变化趋势.结果表明:1870 年来东亚南部 (主要发源于我国境内)的河流径流均表现出减少趋势;而最近1930 年以来,东亚南部河流均为减少趋势,北部河流(西伯利亚 3 条大河)则表现为增加趋势,但年际变化存在着较大差异;1951 年以来大部分河流径流变化趋势基本与1930 年以来相同,但长江下游大通站由于中下游地区 90 年代降水增加表现为增加趋势.

关键词: 径流变化; 主要河流; 东亚中图分类号: P339 文献标识码: A

0 引言

全球气候变暖的必然结果是降水的增加,就全球而言,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].

径流变化是全球变化的一个重要部分,在长期径流观测资料的基础上,已有众多有关区域以至全球径流变化的研究成果[5-11],径流资料的观测时段长达 100 多年(最早 1807 年). 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 % · · · · ,从 100 多年的径流变化看,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 来我国北部的河流如黄河、松花江等表现为减少趋势,而长江和珠江则表现为微弱的增加或减少[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;西北地区河流

径流主要表现为增加趋势^[16-17]. 上述研究缺乏在 更长时间尺度上我国主要河流与亚洲其他主要河流 径流变化的差异,本文拟通过东亚 8 条主要河流 100 多年来径流观测资料分析径流的变化.

1 研究方法和资料

1.1 研究方法

用线性回归方法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 100 多年来我国主要河流如澜沧江/湄公河、珠江、长江、黄河和松花江以及西伯利亚3 条主要河流 Lena、Yenisei 和 Ob 河主要控制站的实测径流的变化趋势.

1.2 水文资料本

主要选取发源于我国从南到北的 5 条河流澜沧江、湄公河、珠江、长江、黄河和松花江/ Amur 河,以及西伯利亚 3 条最大河 Lena、Yenisei 和 Ob 河近 100 多年的年径流资料(图 1),选取台站主要特征值如表 1. 1980 年代以前逐月径流资料来源于德国全球径流资料中心(GRDC),20 世纪 80 - 90 年代资料来自于各流域管理中心.

收稿日期: 2007-12-08; 修订日期: 2008-02-03

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB411502);中国科学院寒区旱区环境与工程研究所引进人才项目(2004116);中国科学院知识创新工程重大项目(KZCXI-10-06)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 @zb. ac.cn

| 表 1 | 河流控制水文站特征表 |
|-----|------------|
| | |

| 河流 | 水文站 | 流域面积 / km² | 纬度 / E | 经度 / N | 记录时段 | 径流量 /(×10 ⁸ m ³) |
|-----------|------------|---------------|------------------|-----------|------------|---|
| 澜沧江/湄公河 | Mukdahan | 391000 | 104.73 ° | 16.54° | 1924 —1993 | 2556 |
| 珠江(西江) | 梧州 | 329705 | 111.3° | 23.48° | 1900 —2000 | 2064 |
| 长江 | 宜昌 | 1010000 | 111.23° | 30.66° | 1877 —2003 | 4315 |
| 黄河 | 大通 | 1705383 | 117.62° | 30.77° | 1923 —2000 | 8958 |
| | 唐乃亥 | 121972 | 100.15 | 35.50° | 1956 —2005 | 204 |
| | 兰州 | 222551 | 103.88 | 36.05° | 1934 —2005 | 320 |
| 松花汀/ Amur | 三门峡 | 688000 | 111.37° | 34.82° | 1919 —1997 | 397 |
| | 哈尔滨 | 391000 | 126.58° | 45.77° | 1898—1999 | 437 |
| | Khabarovsk | 1630000 | 135.05° | 48.43° | 1897 —1985 | 2630 |
| Lena | Kusur | 2430000 | 127.39° | 70.68° | 1934 —2000 | 5286 |
| Yenisey | Igarka | 2440000 | 86.48° | 67.43° | 1936—1999 | 5801 |
| Ob | Salekhard | 2950000 | 66.6° | 66.63° | 1930 —1999 | 3940 |

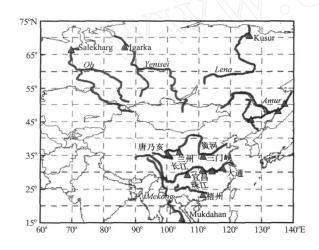


图 1 河流及主要水文站

Fig. 1 The rivers and hydrologic stations in the study regions

珠江流域由西江、北江、东江和珠江三角洲诸河四大水系组成. 西江是珠江的主干流,发源于云贵高原,径流总量仅次于长江,年均河川径流总量为3 $360 \times 10^8 \text{ m}^3$,单位面积产水量居全国之冠;流域已建成各类型水库13 988座,总库容达 $706 \times 10^8 \text{ m}^3$,总库容占总径流的 21 %左右.

澜沧江、长江和黄河均发源于青藏高原,河源区人类活动相对较小,其径流变化基本保持了天然特点,但中下游地区则为我国主要的工农业经济区.黄河流域经由青藏高原,黄土高原和华北平原最后流入渤海湾,区域内有干旱,半干旱及半湿润

区, 年降水量在 200~600 mm. 黄河花园口站以上 多年平均天然水资源量 619 ×108 m3 (实测径流量 409 ×10⁸ m³),水资源严重不足,同时在历史上又 是洪水灾害濒发的地区. 黄河流域内人口 1.4 x 108, 耕地面积 696 ×104 hm2, 农作物以小麦和玉米 为主; 流域内已建成和正在建设的大型水库 6 座, 总库容 574 ×10⁸ m³, 占多年径流量的 93 %. 长江 经由青藏高原,四川盆地和长江中下游平原注入东 海,流域内降水量在 400~1 500 mm 之间,下游大 通站多年平均径流量为9000×108 m3(入海水量 9 600 x10⁸ m³). 长江流域水量丰沛, 是我国的水稻 主产区, 流域内人口 4.1 ×10⁸人, 耕地面积 31 × 10⁶ hm²; 流域内 2000 年前已经建成大中小水库总 库容 2019 ×10⁸ m³, 其中库容超过 1 ×10⁸ m³大型 水库的总库容1 035 ×108 m3 (兴利库容 486 ×108 m³),总库容占总径流的20%左右.澜沧江 Mukdahan 以上主要是森林和草地覆盖, 有一座大型水 库[18].

松花江流域是我国七大流域之一,位于我国东北地区,与界河黑龙江汇合后形成黑龙江干流流入俄罗斯 Amur 河,最后流入太平洋. Lena, Yenisei和 Ob 河是西伯利亚的 3 条主要大河,流域面积均超过 2.4 ×10⁶ km²,河流由南向北入北冰洋.

2 径流变化趋势

2.1 年径流变化趋势

图 2~8 分别给出了澜沧江、珠江、长江、黄河

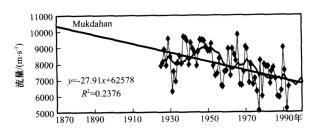


图 2 1925—1993 年澜沧江/湄公河 Mukdahan 站年径流过 程及其变化趋势

Fig. 2 The Annual discharge at Mukdahan Stations in Lancang/Mekong River during 1925—1993 and its variation tendency 1925—1993

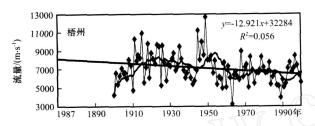


图 3 1900—2000 年珠江(西江)梧州站年径流过程 及其变化趋势

Fig. 3 The annual discharge at Wuzhou Stations in Xijiang subbasin of Zhujiang River during 1900—2000

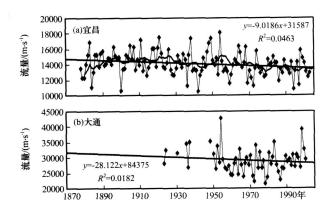


图 4 1951-2000 年长江中游宜昌站(a) 和下游大通 站(b) 年径流过程及其变化趋势

Fig. 4 The annual discharges at Yichang Station in the upper reaches (a) and Datong Station in the lower reaches (b) of Yangtze River and their variation tendencies during 1951—2000

和松花江以及西伯利亚 3 条河主要控制站的年径流过程和变化趋势. 结果表明: 澜沧江 Mukdahan 站 1925—1993 年径流表现为 - 279 m³ · s¹ · (10a)¹(-3.5% · (10a)¹) 减少趋势(超过 99%

的信度) (图 2),上游昌都站 1953—1982 年的短期 变化趋势亦表现为减少趋势 (图略). 珠江主要支流 西江梧州站 1900—2000 年实测流量表现为微弱的 减少趋势 (-129 m³·s¹·(10a)¹或 1.3%·(10a)¹, 超过 95%的信度) (图 3),但在 1951—2000 年间年径流没有显著的增减变化[14].

长江干流寸滩、宜昌、汉口和大通站 1987 — 2000 年的年流量表现为显著的减少趋势(图 4),分别为 -83、-81、-141和 -281 m³ -s -1 -(10a) -1 -(-0.7)、-0.6、-0.6和 -1.0% -(10a) -1 -1 ,其中寸滩和宜昌站径流减少趋势超过95%信度检验.

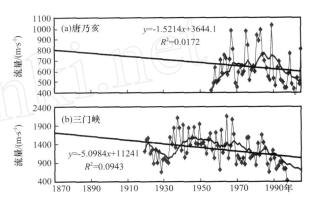


图 5 1951—1998 年黄河上游唐乃亥(a)、下游三门峡(b) 站年径流过程及其变化趋势

Fig. 5 The annual discharges at Tangnag Station in the upper reaches (a) and Sanmenxia Station in the lower reaches (b) of Yellow River and their variation tendencies during 1951—1998

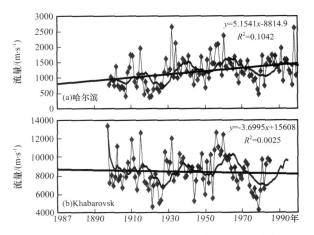


图 6 1898—2000 年上游松花江哈尔滨站(a)和下游 Amur 河 Khabarovsk(b)站年径流变化过程

Fig. 6 The annual discharges at Harbin Station in Songhuajiang River (a) and Khabarovsk Station in Amur River (b) and their variation tendencies during 1898—2000

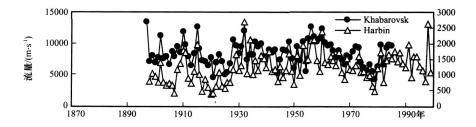


图 7 1898—2000 年上游松花江哈尔滨站和下游 Amur 河 Khabarovsk 站年径流变化过程 Fig. 7 The annual discharges at Harbin Station in Songhuajiang River and Khabarovsk Station in Amur River during 1898—2000

但从短期(1951—2000)径流变化看,寸滩和宜昌站 为减少趋势而下游大通站 50 a 流量则为不显著的 增加趋势[14].

黄河上游唐乃亥站 1951—2000 年实测流量基本上没有变化趋势(图 5),而兰州和三门峡站 1919—2000 年的径流均表现出显著减少,分别-38和-51 m³·s¹·(10a)¹(-3.4和-4.1%·(10a)¹).从图中可以看出,径流的减少主要是在最近 50 a 特别是最近 20 a,这是唐乃亥站以下最近 50 a 降水减少显著,同时人类活动如龙羊峡水库蓄水和农业灌溉加强等共同作用的结果[19].尽管从更长的通过历史文献资料恢复的最近 500 a 的资料看,三门峡站径流没有明显的变化趋势,只是最近 200 a 径流的波动性有所加大[20].

松花江/ Amur 河哈尔滨站和 Khabarovsk 站 1898—2000 年实测径流变化趋势分别为 52 和 - 37

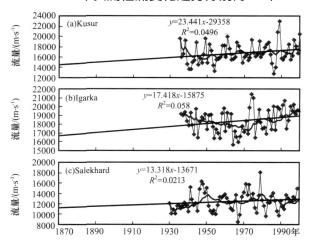


图 8 1930—2000 年西伯利亚 3 条大河(a) Lena、(b) Yenisei 和(c) Ob 河出海口站年径流变化过程

Fig. 8 The annual discharges at (a) Kusur of Lena,(b) Igarka of Yenisey and (c) Salekhard of Obin Siberia and their variation tendencies

during 1930 -2000

m³·s¹·(10a)¹(41和-0.4%·(10a)¹),其中哈尔滨站径流显著增加,而 Khabarovsk 站径流则为不显著的微弱减少(图 6).最近 50 a 哈尔滨站流量为不显著的减少趋势¹¹¹,而下游 Khabarovsk 站则为显著的减少.但是,如果对比哈尔滨和 Khabarovsk 站年径流过程(如图 7),可以发现,在1933年以后,哈尔滨站年径流与下游 Khabarovsk 站具有较好的一致性.但相对来讲,1933年以前,哈尔滨站年径流明显偏小,由此可以初步判定1933年以前哈尔滨站径流的观测系统与其后的存在明显的不一致性,这有待今后进一步论证松花江/Amur河100 a 来实际径流表现为微弱的减少趋势.

亚洲北部西伯利亚三条主要河流 Lean、Yenisei 和 Ob 河出海口站 1930—2000 年实测年径流均表现为增加趋势,变化趋势分别为 234、174 和 133

表 2 主要河流控制站不同时段年径流变化趋势 (%·(10a)·1)对比

Table 2 Runoff variation tendencies (% · (10a) · 1) of the main stations during different periods

| | 1870 —2000 年 | 1930 —2000 年 | 1950 —2000 年 |
|------------|--------------|--------------|--------------|
| Mukdahan | | - 4.24 ** | - 5.63 ** |
| 梧州 | - 1.81 ** | - 2.63 * | - 1.17 |
| 宜昌 | - 0.68 ** | - 0.99 | - 1.19 |
| 大通 | | - 0.97 | 0.54 |
| 唐乃亥 | | | - 0.53 |
| 兰州 | | - 3.70 ** | - 4.57 * |
| 三门峡 | - 4.05 ** | - 7.61 ** | - 11.65 ** |
| 哈尔滨 | 4.10 ** | - 1.39 | - 3.80 |
| Khabarovsk | - 0.46 | - 3.37 | - 7.85 * |
| Kusur | | 1.40 | 1.73 |
| Igarka | | 0.95 * | 2.27 ** |
| Salekhard | | 1.07 | 1.18 |

注: *信度超过95%; * *信度超过99%.

m³·s⁻¹·(10a)⁻¹(1.4、0.9 和 1.1%·(10a)⁻¹, 但各河之间变化过程存在差异(图 8).

2.2 不同时段年径流变化趋势对比

为对比不同时段径流变化趋势的差异,分别计算了 1870—2000 年、1930—2000 年和 1950—2000 年 3 个时段径流变化趋势(表 2). 结果表明:除哈尔滨站和大通站外,其它各站径流长短时段增减趋势基本一致,大小有所差异.哈尔滨站径流变化趋势的差异可能主要是 1930 年以前观测资料偏小的结果,而长江下游大通站则主要是由于 90 年代径流的显著增加结果.

3 结论与讨论

在东亚中南部主要河流径流在 100 多年来表现为减少趋势,而在北部的西伯利亚主要河流则表现为增加趋势。在较湿润的东亚南部由于降水丰富,以长江为代表尽管人类活动会对冬季枯水季径流产生较大影响[12],但 1951—1979 年长江流域降水和径流分析表明,长江径流过程受人类活动影响较小[21]。由此表明,澜沧江/湄公河、珠江西江和长江径流的变化主要代表过去 100 多年的气候变化结果,径流的减少趋势与姚檀栋等[22]通过青藏高原南部达索普冰芯记录恢复的过去 400 a 的降水减少过程一致。黄河径流的减少,上游人类活动较弱,主要是受降水较少的结果,而中下游地区则受降水减少和人来活动影响共同作用的结果,而北部河流径流的增加完全是由于降水增加的结果[23]。

致谢:德国水文研究所全球径流资料中心 (GRDC)、中国科学院南京地理与湖泊研究所秦伯强研究员和中国水利水电科学研究院水环境研究所 吕娟高级工程师提供部分资料,在此一并表示谢意.

参考文献(References):

- Jones PD, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations
 Journal of Climatology, 1996, 16: 361 - 377.
- [2] Hulme M, Osborn TJ, Johns T C. Precipitation sensitivity to global warming: Comparison of observation with HadCM2 simulation [J]. Geophys. Res. Lett., 1998, 25: 3379 -3382.
- [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, Guyot J. Evidence for global 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, 2171 -2173
- [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, et al. 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), 1200, doi: 10. 1029/2003 WR001991.
- [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, et al. Impacts of human activity on river runoff in northern area of China[J]. J. of Hydrology, 2002, 261:204 217.
- [14] Ye Baisheng, Li Chong, Yang Daqing, et al. Variation trend of precipitation and its impact on water resources in China during last 50 years (): Annual variation [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年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 Chang of annual runoff in Southwest China[J]. Climatic and Environmental Research, 2002,7(4):416-422. [刘春蓁,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): 192-97.]
- [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] Revenga C, Murray S, Abramovitz J, et al. Watersheds of the World: Ecological Value and Vulnerability [M]. Washington D. C.: World Resources Institute and Worldwatch Institute, 1998: 1 - 172.
- [19] Yang Dawen; Li Chong; Hu Heping, et al. Analysis of water resources variability in the Yellow River of China during the

- last half century using historical data [J]. Water Resour. Res., 2004, **40**(6): W06502 10.1029/2003WR002763
- [20] Wang Guoan, Shi Fucheng, Zheng Xiuya, et al. Natural annual runoff estimation from 1470 to 1918 for Sanmenxia Gauge Station of Yellow River [J]. Advances in Water Sciences, 1999, 10(2): 170 176. [王国安,史辅成,郑秀雅,等. 黄河三门峡水文站 1470—1918 年年径流量的推求[J]. 水科学进展, 1999, 10(2): 170 176.]
- [21] Lin Chengkun, Wu Xiaogen. The study on characteristic and its meaning of the discharge in Yangtze River [J]. Chinese Journal of Nature, 1999, 21(4): 200 205. [林承坤, 吴小根, 长江径流量特性及其重要意义的研究[J]. 自然杂志,

- 1999, **21**(4): 200 205.]
- [22] Yao Tandong, Duan Keqin, Tian Lide, et al. Glacial accumulation record in the Dasuopu ice core and Indian summer monsoon rainfall in the past 400 years[J]. Science in China(Series D), 2000, 30(6): 619 627. [姚檀栋,段克勤,田立德,等.达索普冰芯积累量记录和过去 400 a 来印度夏季风降水变化[J].中国科学(D辑), 2000, 30(6): 619 627.]
- [23] Yang D, Kane D, Hinzman L, et al. Siberian Lena river hydrologic regime and recent change[J]. Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 2002, 107 (D23), 4694, doi: 10. 1029/2002J D002542.

Discharge Changes of the Eight Large Rivers in East Asia during the Last More Than 100 Years

YE Bai-sheng¹, CHEN Peng², DING Yong-jian¹, YANG Da-qing³, LI Chong⁴, SHEN Yong-ping¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Meteorologic Bureau of Ür ünqi City, Ür ünqi Xinjiang 830002, China;

3. Water and Environment Research Center, University of Alaska Fairbanks, A K99775, USA;

4. China Institute of Water Environment, Beijing 100038, China)

Abstract: In this paper the runoff variation tendencies of the eight large rivers in East Asia during the last more than 100 years are analyzed based on the long-term annual discharge data at 12 main/outlet hydrologic stations of Lancang/Mekong River, Zhujiang (Xijiang) River, Yangtze River, Yellow River, Songhuajiang/Amur River, Original from China, and the Lena, Yenisei and Ob in Siberia, by using the linear regression methodology. It has been found that the annual discharges of the rivers in Southeast Asian, including Lancangjiang/Mekong River, Yangtze River, Yellow River and Songhuajiang River, have a negative variation tendency while the Lena, Yenisei and Ob rivers in Siberia of the Northeast Asia have a positive discharge

Key words: runoff variation; main rivers; East Asia

variation tendency during the periods of 1870—2000, 1930—2000 and 1950—2000, except for a positive one at the Datong Station in Low Yangtze river during the 1950—2000. The positive discharge variation tendency at Datong station during 1950—2000 is caused by the precipitation increase in the Low Yangtze River during the 1990s. It is needed to point out that the discharge data at Haerbin Station of Songhuajiang River before 1930 is systematic low bias comparing to the discharge data at the Haerbin Station of the Upper Songhuagiang River and at the Mukdahan Station in the Low Songhuangjiang/Amur River during 1897—1985.