

The Characteristic Analysis of Rainfall and Temperature between 1956 and 2013 in the Hanjiang River Basin

Yu Li¹, Xue Wang², Guoxue Zhang¹

¹Bureau of Hydrology of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

²Comprehensive Management Centre of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan Hubei

Email: liyuhwu@163.com

Received: Jul. 23rd, 2015; accepted: Aug. 6th, 2015; published: Aug. 18th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In order to evaluate the characteristics and change trend of the surface precipitation and temperature in the middle and lower reaches of the Hanjiang River before the working of the middle route of the South-to-North Water Diversion Project, eighteen meteorological stations were selected. Furthermore, mathematical statistics, Mann-Kendall test and Spearman test were used, and two aspects of temperature and runoff were analyzed based on the meteorological data of the selected stations. The results are as follows. 1) The surface precipitation of the upper drainage area of Hanjiang River basin is 158 mm more than that of the lower drainage area; the temperature of the whole basin has been raised since 1990. 2) After trend analysis, it unfolds that the change trends of the rain-time series in this region are not noticeable, but the temperature shows a significant rise. 3) The imbalance between water supply and demand in the lower Hanjiang River basin will be very conspicuous, if there are not any engineering and non-engineering actions to take.

Keywords

Hanjiang River Basin, Precipitation, Temperature, Change Trend, Mann-Kendall Test, Spearman Test, Water Diversion Project

1956~2013年汉江流域降雨和气温变化特性分析

李 雨¹, 王 雪², 张国学¹

作者简介: 李雨, 男, 工程师, 博士研究生, 主要从事水文及水资源方面的研究。

文章引用: 李雨, 王雪, 张国学. 1956~2013 年汉江流域降雨和气温变化特性分析[J]. 水资源研究, 2015, 4(4): 345-352.
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2015.44042>

¹长江水利委员会水文局, 湖北 武汉

²长江水利委员会综合管理中心, 湖北 武汉

Email: liywhu@163.com

收稿日期: 2015年7月23日; 录用日期: 2015年8月6日; 发布日期: 2015年8月18日

摘要

本文选择汉江流域18个国家气象站的长序列观测资料, 采用数理统计、Mann-Kendall检验和Spearman秩次检验法, 分别从降雨和气温两个方面, 对跨流域调水环境下汉江流域降雨和气温变化特性进行了分析。研究结果表明: 1) 丹江口以下流域的多年面均雨量较丹江口以上流域多了158.7 mm; 汉江流域温度在1990年以后均出现了明显的升高。2) 经降雨和气温趋势分析可知, 汉江流域的降雨无明显的变化趋势, 而气温则有显著的升高趋势。3) 在整个汉江流域的降雨无明显变化, 而气温显著升高的情况下, 考虑到未来跨流域调水以及工农业用水规模的增加, 汉江流域水资源量的供需矛盾将不容乐观。

关键词

汉江流域, 降雨, 气温, 变化趋势, Mann-Kendall检验, Spearman检验, 调水工程

1. 引言

南水北调工程是实施我国水资源优化配置, 改变南涝北旱和北方地区水资源严重短缺局面的跨世纪重大战略工程, 可缓解京、津、华北地区水资源危机。其中, 全长1432公里的南水北调中线一期工程已于2014年12月12日正式通水, 一年年均调水量95亿 m^3 , 约占汉江流域径流量的20%左右[1], 再加上丹江口水利枢纽续建工程以及汉江中下游补偿工程。这些工程的建设和运行, 将导致汉江中下游水文情势的变化。

近年来, 众多学者就南水北调中线工程对汉江中下游的影响开展了大量的研究[2]-[4]。按照国务院2002年正式批复的《南水北调工程总体规划》, 南水北调中线工程调水后, 对可能给汉江中下游供水区造成的不利影响, 通过实施针对性的工程进行补偿。然而, 报告中采用的资料系列为1956~1998年。1999年以来, 汉江流域的降雨和气温情势是否与大坝加高前的分析成果相一致, 其他的跨流域调水工程是否会造成叠加影响, 有必要对跨流域调水环境下汉江流域降雨和气温变化特性进行分析, 以便对后期整体工程的调度运行提供比对数据及决策支持。

2. 资料与方法

2.1. 资料

从国家气象站网中, 选择18处均匀分布的气象站点, 站点名录见表1, 站点分布情况见图1。以1998年为时间界限, 选取的序列长度分为1956~1998年以及1956~2013年降雨量及气温序列。

2.2. 方法

在时间序列趋势分析中, 最为常用的方法为Mann-Kendall检验[5][6]和Spearman秩次相关检验[7], 其已被众多学者广泛应用在降水、径流、气温和水质等时间序列趋势变化的研究中[8]-[10]。其中, Mann-Kendall检验不需要样本遵循一定的分布, 也不受少数异常值的干扰, 适用于水文、气象等非正态分布的数据。同Mann-Kendall检验一样, Spearman秩次相关检验也属于非参数检验(与分布无关), 它是历史最久的秩次统计方法, 同样对水

Table 1. The list of meteorological stations
表 1. 气象站点名录表

台站名称	省份	纬度	经度	拔海高度	台站名称	省份	纬度	经度	拔海高度
栾川	河南	33°47'	111°36'	750.3	安康	陕西	32°43'	109°02'	290.8
略阳	陕西	33°19'	106°09'	794.2	陨西	湖北	33°00'	110°25'	249.1
汉中	陕西	33°04'	107°02'	509.5	陨县	湖北	32°51'	110°49'	201.9
佛坪	陕西	33°31'	107°59'	827.2	房县	湖北	32°02'	110°46'	426.9
商州	陕西	33°52'	109°58'	742.2	老河口	湖北	32°23'	111°40'	90.0
镇安	陕西	33°26'	109°09'	693.7	枣阳	湖北	32°09'	112°45'	125.5
西峡	河南	33°18'	111°30'	250.3	钟祥	湖北	31°10'	112°34'	65.8
南阳	河南	33°02'	112°35'	129.2	天门	湖北	30°40'	113°10'	34.1
石泉	陕西	33°03'	108°16'	484.9	武汉	湖北	30°37'	114°08'	23.1

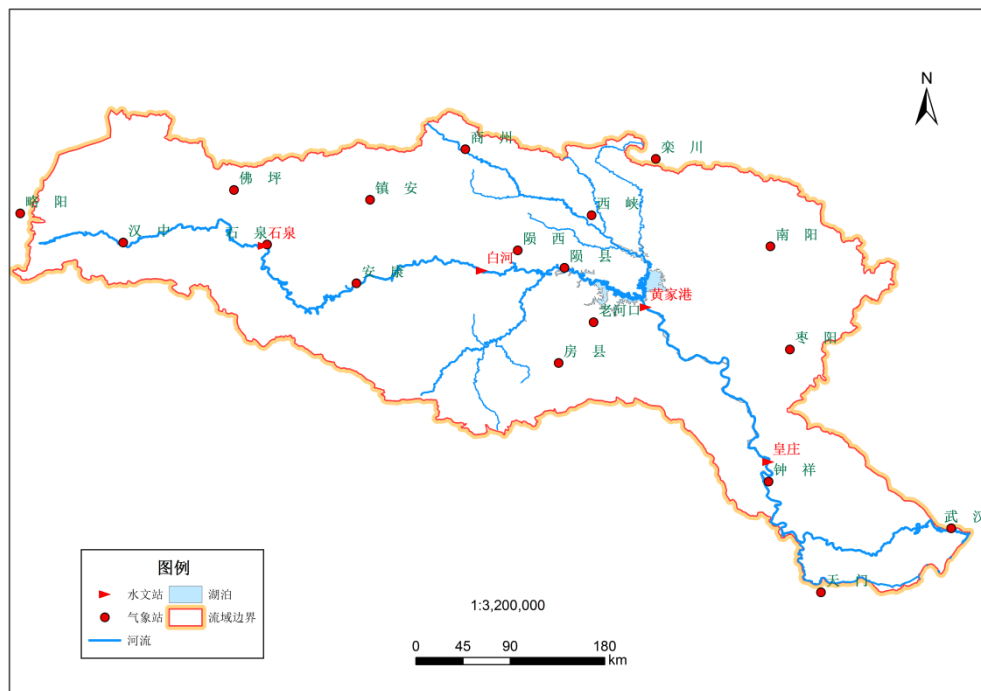


Figure 1. The distribution of meteorological stations in the Hanjiang River basin
图 1. 汉江流域气象站点分布图

文、气象等时间序列数据具有较强的适用性。本文采用这两种分析方法，对各气象站的年均降雨和气温时间序列进行趋势检验。

1) Mann-Kendall 检验

在运用 Mann-Kendall 进行趋势分析时，首先需构建统计变量 S ，其计算如下式：

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

式中， x_i 为时间序列构成的分析样本； sgn 是符号函数； S 为统计量，在给定的 α 置信水平上，当 $Z \geq Z_{\alpha/2}$ 时，说明时间序列上升的趋势较为显著；当 $Z < -Z_{\alpha/2}$ 时，说明时间序列下降的趋势较为显著。相反，则表明该时间

序列变化趋势不显著。

在检验序列的突变点时，则需构造另一秩序列：

$$UF_k = \frac{s_k - E(s_k)}{\sqrt{\text{Var}(s_k)}} \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

式中， UF_k 服从标准正态分布。 s_k 是第 k 时刻数值大于序列内其他数值的总个数，其表达式为：

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k=2,3,\dots,n) \quad (3)$$

式中， r_i 的取值为 0 或 1。

把此方法引用到反序列中，计算得到另一条曲线 UB_k ，则两条曲线在置信区间内的交点确定为突变点。

2) Spearman 秩次相关检验

在运用 Spearman 进行趋势分析时，首先需构建统计变量 T ，其计算如下式：

$$T = r \left(\frac{n-4}{1-r^2} \right)^{1/2} \quad (4)$$

式中， n 为序列长度； r 是相关系数，可由下式计算：

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - t)^2}{n^3 - n} \quad (5)$$

式中， R_i 为秩次，把时间序列从大到小排序， t 时刻对应序号即为其秩次。

统计变量 T 服从 t 分布，其自由度为 $(n-2)$ 。在给定的 α 置信水平上，当 $T \geq t_{\alpha/2}$ 时，说明时间序列上升的趋势较为显著；当 $T < -t_{\alpha/2}$ 时，说明时间序列下降的趋势较为显著。相反，则表明该时间序列变化趋势不显著。

3. 结果分析

3.1. 特性分析

国务院 2002 年正式批复了《南水北调工程总体规划》，报告中水量分析采用的径流系列为 1956~1998 年。为了分析跨流域调水环境下汉江流域降雨和气温的变化特性，特别是考虑了 1999~2013 年这 15 年的水文资料后，整个流域的气象情势与原有报告的分析成果的一致性。根据选择的 18 处气象站点的历史资料序列，分为丹江口坝上以及丹江口坝下流域，分别统计了 1956~1998 年序列(原设计序列)及 1956~2013 年序列年均降雨和温度的统计特征值，将结果列于表 1。

从表 2 可以看出，经过长短径流序列资料对比分析，可以看出：降雨方面，加入 1999~2013 年资料序列后，无论丹江口坝上还是丹江口坝下流域，降雨量均有了一定程度的减小，但减小的幅度不大。气温方面，丹江口坝上流域的温度变化不明显，而对于丹江口坝下流域，长序列较原设计序列有了显著的升高，平均温度从原设计的 15.8℃ 上升到 16.1℃。

从图 2(a)和图 2(b)可以看出：降雨量方面，丹江口以上及丹江口以下流域面均雨量的年际变化较为均匀，但丹江口以下流域的面均雨量值更大，多年平均值(1956~2013 年序列)为 984.2 mm，较丹江口以上流域的多年均值 825.5 mm，多了 158.7 mm。温度方面，无论是丹江口以上还是丹江口以下流域，温度在 1991 年以后均出现了明显的升高，特别是丹江口以下流域，1991~2013 年序列较 1956~2013 年序列温度升高了 0.51℃。

3.2. 趋势检验

选择 1956~2013 年序列的年均降雨和气温资料，分为丹江口以上和丹江口以下流域，分别运用 Mann-Kendall

检验和 Spearman 检验, 检验子流域的降雨和气温序列的变化趋势, 结果列于表 3。

从表 3 可以看出, 降雨方面, 丹江口以上和以下流域降雨时间序列的 $|Z_{MK}|$ 分别为 0.77 和 0.36, 均小于 $N_{0.05/2}(0,1) = 1.96$, 且 $|Z_S|$ 分别为 0.84 和 0.23, 均小于 $t_{0.05/2}(58 - 2) = 2.00$, 故其不存在明显的变化趋势。气温方面: 丹江口以上和以下流域降雨时间序列的 $|Z_{MK}|$ 分别为 2.31 和 4.59, 均大于 $N_{0.05/2}(0,1) = 1.96$, 且 $|Z_S|$ 分别为 2.86 和 5.85, 均大于 $t_{0.05/2}(58 - 2) = 2.00$, 故其存在明显的上升趋势。

对比图 3(a)和图 3(b)可以看出, 无论是丹江口以上还是以下流域, 1956~2013 年间, 其降雨量的统计量 UF 值始终处于上下临界值之间, 不存在明显的变化趋势。对比图 3(c)和图 3(d)可以看出, 无论是丹江口以上还是

Table 2. The comparative analysis of different sequence length of precipitation and temperature in the Hanjiang River basin
表 2. 降雨量和气温长短序列对比分析表

流域	项目	序列长度	年数	均值	最大值		最大值	
					数值	出现年份	数值	出现年份
丹江口坝上	降雨(mm)	1956~1998	43	831.2	1205.2	1964	568.2	1997
		1956~2013	58	825.5	1205.2	1964	557.0	2013
	气温(°C)	1956~1998	43	14.0	14.9	1998	13.3	1984
		1956~2013	58	14.1	15.0	2006	13.3	1984
丹江口坝下	降雨(mm)	1956~1998	43	995.1	1373.8	1983	624.9	1966
		1956~2013	58	984.2	1373.8	1983	624.9	1966
	气温(°C)	1956~1998	43	15.8	17.2	1998	15.0	1969
		1956~2013	58	16.1	17.4	2007	15.0	1969

Table 3. The trend of the annual rain and temperature in the Hanjiang River basin
表 3. 汉江流域气象站降雨和气温变化趋势统计表

项目	Mann-Kendll 检验			Spearman 检验			检验结果
	P	Z_{MK}	$N_{0.05/2}(0,1)$	P	Z_S	$t_{0.05/2}(56)$	
丹江口以上-降雨	0.44	-0.77	1.96	0.40	-0.84	2.00	不显著
丹江口以下-降雨	0.72	-0.36	1.96	0.82	-0.23	2.00	不显著
丹江口以上-气温	0.02	2.31	1.96	0.01	2.86	2.00	显著上升
丹江口以下-气温	0.00	4.59	1.96	0.00	5.85	2.00	显著上升

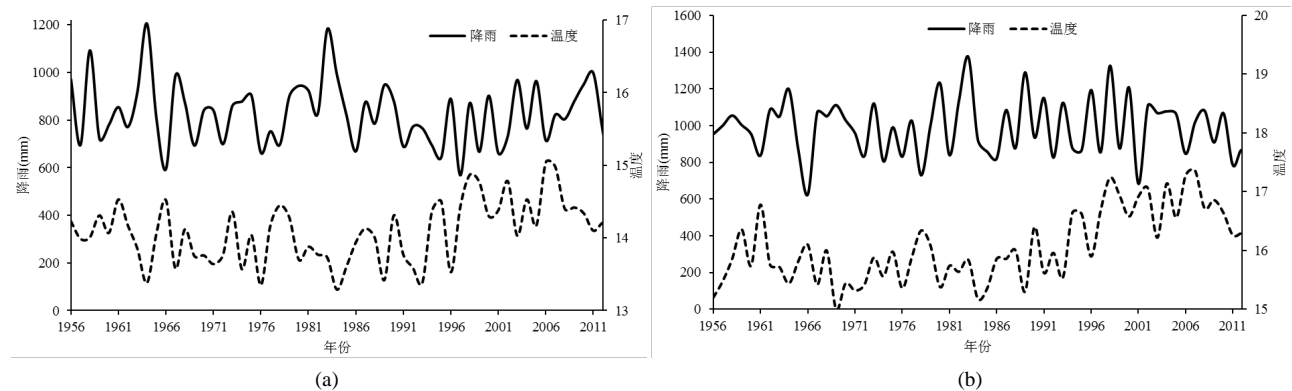


Figure 2. The annual rain and temperature series in the upper (a) and lower (b) Hanjiang River basin
图 2. 汉江流域年均降雨和温度序列: (a) 丹江口以上流域; (b) 丹江口以下流域

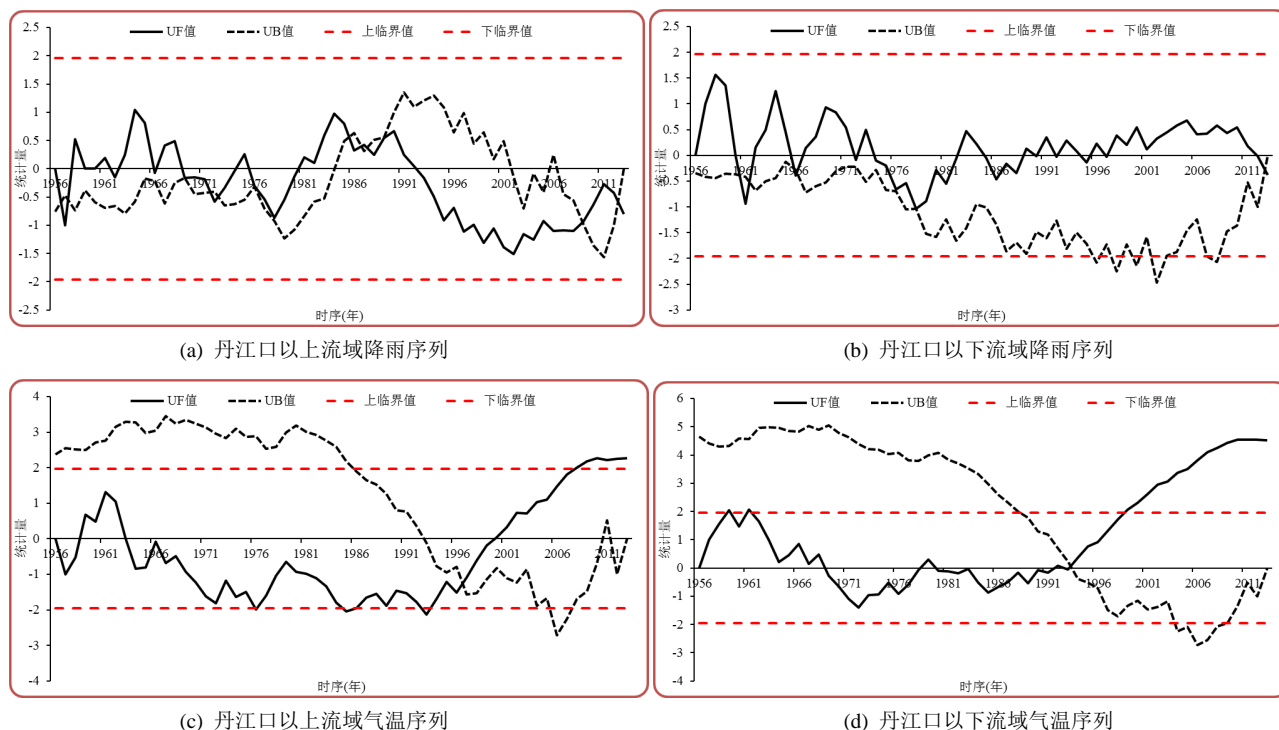


Figure 3. The annual rain and temperature series in the upper and lower Hanjiang River basin

图 3. 汉江丹江口水库上下游流域年均降雨和温度序列

以下流域，1990 年以后，气温均出现了显著的上升趋势，且丹江口以下流域气温上升的幅度更大，趋势也更为明显。

3.3. 其他影响因素分析

1) 跨流域调水方面

汉江流域在建和规划建设的较大规模的调引水工程共四处：南水北调中线工程、引汉济渭工程、引江济汉工程以及引江补汉工程。随着调水规模的逐渐增加，到 2020 年，南水北调中线工程调水 95 亿 m^3 左右，引汉济渭工程调水 5 亿 m^3 ，加上已经实施的引乾济石和引红济石引水 1.41 亿 m^3 ，跨流域调水总规模约 101.4 亿 m^3 。到 2030 年，在中线一期工程基础上，根据京津华北平原用水要求，中线工程调水量增加至约 130 亿 m^3 左右，引汉济渭工程将调水 15 亿 m^3 、引乾济石和引红济石保持原有的引水 1.41 亿 m^3 的调水规模，跨流域调水总规模约 146.4 亿 m^3 。届时汉江中下游入境可用水量将从原设计的 387.8 亿 m^3 减少到 241.7 亿 m^3 ，降幅达到 37.8%，汉江流域跨流域调水示意图见图 4。

2) 社会经济发展方面

国民经济的发展用水、工业用水、农业用水以及居民的生活用水呈现出显著增加的趋势。据《汉江干流综合规划报告》[11]统计预测，2030 水平年，汉江流域城市生活用水 18.4 亿 m^3 ，工业用水 66.6 亿 m^3 ，农村生活用水 8.8 亿 m^3 ，农林牧渔用水 112.8 亿 m^3 。较 2010 年分别增加 34.24%、16.82%、5.68% 以及 2.75%。

4. 结论

为研究跨流域调水环境下汉江流域降雨和气温的变化特性，本文选择汉江流域 18 个国家气象站的长序列观测资料，采用数理统计、Mann-Kendall 检验和 Spearman 秩次检验法，分别从降雨和气温这两个方面进行了分析。主要结论如下：



Figure 4. The trans-valley water diversion projects relate to Hanjiang River basin
图 4. 汉江流域跨流域调水示意图

- 1) 降雨量方面,丹江口以下流域的面均雨量值更大,多年均值较丹江口以上流域多了 158.7 mm。温度方面,汉江流域温度在 1991 年以后均出现了明显的升高。
- 2) 经降雨和气温趋势分析可知,汉江流域的降雨无明显变化趋势,而气温则有显著的升高趋势。
- 3) 在整个汉江流域的降雨无明显变化,而温度显著升高的情况下,考虑到未来跨流域调水以及工农业用水规模的增加,汉江流域水资源量的供需矛盾将不容乐观。

基金项目

该文章由水利部公益性行业科研专项经费项目(201401021)资助。

参考文献 (References)

- [1] 水利部长江水利委员会. 南水北调中线工程规划[R]. 武汉: 长江水利委员会, 2001.
Changjiang Water Resources Commission. Planning of middle-route of south-north water transfer project. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 2001. (in Chinese)
- [2] 陈华, 闫宝伟, 郭生练, 等. 汉江流域径流时空变化趋势分析[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(3): 49-53.
CHEN Hua, YAN Baowei, GUO Shenglian, et al. Temporal and spatial trends analysis of the runoff in Hanjiang Basin. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2008, 6(3): 49-53. (in Chinese)
- [3] 肖婵, 谢平, 唐涛, 等. 南水北调中线工程对汉江中下游的水文情势影响分析[J]. 水文, 2009, 29(1): 26-29.
XIAO Chan, XIE Ping, TANG Tao, et al. Influence of middle route of South-to-North Water Diversion Project on hydrological regime in middle and lower reaches of Hanjiang River. Journal of China Hydrology, 2009, 29(1): 26-29. (in Chinese)
- [4] 白金明, 张中旺. 南水北调中线工程对襄阳市水资源持续利用影响与对策[J]. 水文, 2013, 33(4): 87-91.
BAI Jinming, ZHANG Zhongwang. Influence of middle route of South-to-North Water Diversion Project on sustainable utilization of water resources in Xiangyang City and concerned countermeasures. Journal of China Hydrology, 2013, 33(4): 87-91. (in Chinese)
- [5] MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. Econometrics, 1945, 13(2): 245-259. <http://dx.doi.org/10.2307/1907187>
- [6] KENDALL, M. G. Rank correlation methods. London: Griffin, 1948.
- [7] ZAR, J. H. Significance testing of the Spearman rank correlation coefficient. Journal of the American Statistical Association, 1972, 67(339): 578-580. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1972.10481251>

- [8] KISI, O., AY, M. Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. *Journal of Hydrology*, 2014, 513: 362-375. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.005>
- [9] MAHAJAN, D. R., DODAMANI. B. M. Trend analysis of drought events over upper Krishna basin in Maharashtra. *Aquatic Procedia*, 2015, 4: 1250-1257. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.163>
- [10] SONG, X. Y., SONG, S. B. and SUN, W. Y. Recent changes in extreme precipitation and drought over the Songhua River Basin, China, during 1960-2013. *Atmospheric Research*, 2015, 157: 137-152. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.01.022>
- [11] 水利部长江水利委员会. 汉江干流综合规划报告[R]. 武汉: 长江水利委员会, 2006.
Changjiang Water Resources Commission. Comprehensive planning of Hanjiang River. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 2006. (in Chinese)