doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 007

大清河流域径流变化趋势分析

申彦科[1],陈海梅[1],谭 杰[2]
(1. 中水北方勘测设计研究有限责任公司,天津 河西区 300222; 2. 水利部海河水利委员会,天津 河东区 300170)

摘要:采用 1956—2016 年长系列径流资料,选取大清河流域北支水系、南支水系及大清河下游的水文站、典型断面为研究对象,进行 Mann-Kendall 趋势检验,分析大清河年径流量的变化趋势。结果显示,白洋淀流域近 54 年的年降雨 M-K 统计值为-1. 492,呈弱减少趋势。对规划实施前后各水文站年均径流量变化分析结果,海河流域综合规划(1993 年)的实施对大清河中下游断面年径流量影响较大。

关键词:径流量;M-K 趋势检验;大清河流域

中图分类号:Q178. 511;S715;X522;P343. 1 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)04-0044-06
引文格式:申彦科,陈海梅,谭杰. 大清河流域径流变化趋势分析[J]. 林业调查规划,2023,48(4):44-49.
doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 007
SHEN Yanke, CHEN Haimei, TAN Jie. Trend of Runoff Changes in Daqing River Basin[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(4):44-49. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 007

Trend of Runoff Changes in Daqing River Basin

SHEN Yanke[1], CHEN Haimei[1], TAN Jie[2]
(1. China Water Resources Beifang Investigation, Design and Research Co., Ltd., Hexi, Tianjin 300222, China;
2. Haihe River Water Conservancy Commission, MWR, Hedong, Tianjin 300170, China)

Abstract: Based on the long-term series runoff data from 1956 to 2016, this paper selected the representative hydrological stations and typical sections of the the north and south water systems and the lower reaches of Daqing River to carry out Mann-Kendalll trend test, and analyze the change trend of annual runoff of Daqing River. The analysis results showed that the M-K value of annual rainfall in Baiyangdian basin in recent 54 years was -1. 492, showing a weak decreasing trend. The implementation of the comprehensive planning of Haihe River basin (1993) had a significant impact on the annual runoff of the middle and lower reaches of Daqing River according to the comparative analysis of the annual runoff changes of each hydrological station.

Key words: runoff; M-K trend test; Daqing River basin

新中国成立后,大清河流域先后开展了《海河流域规划(草案)》《海河流域防洪规划》等 6 次全流域范围的水利规划,经历次规划治理,防洪、供水等水利基础设施体系已基本形成,为流域内社会经济发展提供了有力保障。但大中型水库的拦蓄作用、引提水工程等大规模水利工程建设,导致流域水资源开发利用程度提高,同时由于流域下垫面变化,影响了中下游减水河段径流过程[1-2]。采用 1956—

收稿日期:2021-11-12.
第一作者:申彦科(1984-),男,山西长治人,硕士研究生,高级工程师. 主要从事生态影响评价与水土保持研究.

2016 年长系列径流资料,选取北支水系、南支水系及大清河下游代表水文站、典型断面,分析大清河年径流变化趋势。

1 研究区概况

大清河是海河流域较大河系,源于太行山东麓,上游分为南、北两支。北支为白沟河水系,白沟镇以上流域面积 10 151 km^2,其中张坊以上 4 820 km^2。南支为赵王河水系,白洋淀以上流域面积 21 054 km^2。白洋淀为连接大清河山区与平原的缓洪滞洪、综合利用洼淀,淀区(本杂马)滞洪水位为 9.0 m 时,水面面积 404 km^2。下游接赵王新河、赵王新渠入东淀。东淀下游分别流经海河干流和独流减河入海。

2 研究方法

2.1 数据来源

收集大清河流域代表水文站、典型断面 1956—2016 年长系列逐月径流资料。

2.2 研究方法

在 Mann-Kendall 检验中[3-4],原假设 H_0 为时间序列数据(x_1,x_2,…,x_n)是 n 个独立的、随机变量同分布样本,备择假设 H_1 是双边检验,对于所有的 k,$j \leqslant n$,且 $k \neq j$,x_k 和 x_j 的分布是不相同的,检验统计变量 S 为:

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

式中:$\operatorname{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, x_j - x_k > 0 \\ 0, x_j - x_k = 0 \\ -1, x_j - x_k < 0 \end{cases}$

S 服从均值 $E(S)=0$,方差 $\operatorname{Var}(S)=[n(n-1)(2n+5)-\sum_{j=1}^{m} t_j(t_j-1)(2t_j+5)]/18$ 的正态分布,其中 m 为出现相同秩次的组数,t 为每组中秩次相同的个数。当 $n>10$ 时,标准正态统计变量表示为:

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, S < 0 \end{cases} \tag{2}$$

在给定的 α 显著性水平上,如果 $|Z| \geqslant Z1-\alpha/2$,则原假设是不可接受的,即该序列存在明显的上升或下降趋势:而若统计变量 $Z>0$,则该序列呈上升趋势;若 $Z<0$,则为下降趋势[5-6]。

3 研究结果

3.1 北支水系

北支水系流域内已建有大型水库 1 座、中型水库 7 座,建成房涞涿和易水 2 个大型灌区和 17 个中型灌区以及五一渠、官座岭和胜天渠三大主要引水工程。

3.1.1 径流量年际间变化趋势

选取上游山区的紫荆关、落宝滩,中游的东茨村、北河店,下游的新盖房 5 个水文站年径流数据,分析年径流变化趋势(图 1)。

1)1956—2016 年紫荆关、落宝滩、东茨村、北河店 4 个水文站年径流量呈波动下降趋势;1970—2016 年新盖房水文站年径流量呈波动下降趋势。

2)落宝滩、北河店、新盖房水文站存在断流情况,其中落宝滩水文站自 2006 年起年径流量骤减,2010 年、2014 年、2015 年和 2016 年的年径流量均为 0;北河店水文站自 2001 年开始年径流量骤减,2002 年、2003 年、2007 年、2008 年、2010 年、2011 年、2015 年的年径流量均为 0;新盖房水文站在 1984—1986 年、2002 年、2007 年、2008 年、2010 年、2011 年的年径流量均为 0。

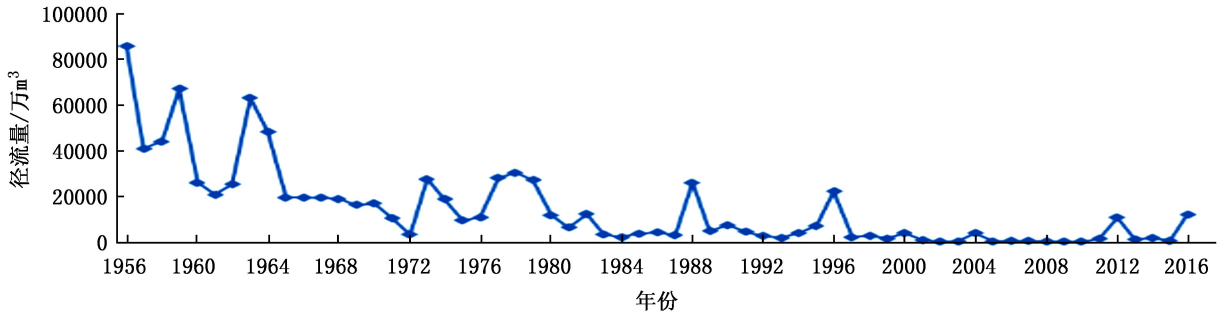
为进一步定量评估上述水文站年径流趋势性变化水平,对紫荆关、落宝滩、东茨村、北河店 4 个水文站 1956—2016 年的实测年径流量和新盖房水文站 1970—2016 年实测年径流量系列进行 Mann-Kendall 趋势检验[7-9](表 1)。

表 1　大清河北支水系各水文站年径流量 M-K 检验

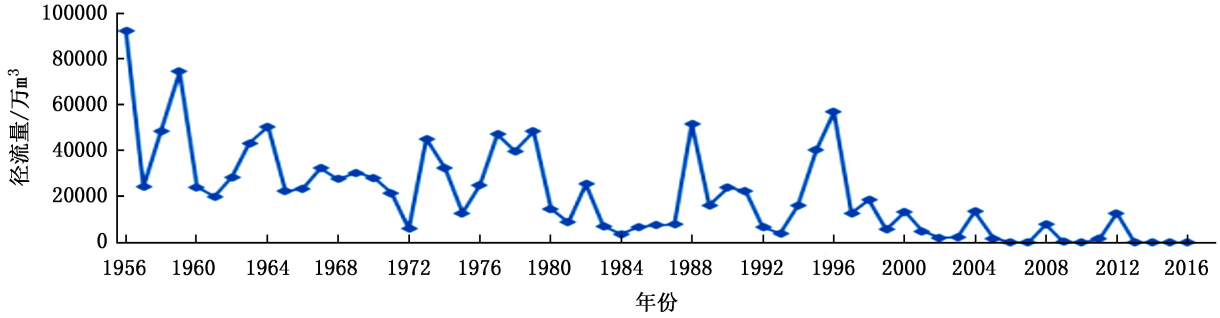
Tab. 1　M-K test results of annual runoff of hydrological station in north branch water system of Daqing River

名称	M-K 统计值	变化趋势
紫荆关水文站	-7.5200	减少显著
落宝滩水文站	-6.1100	减少显著
东茨村水文站	-6.2185	减少显著
北河店水文站	-6.0720	减少显著
新盖房水文站	-3.1690	减少显著

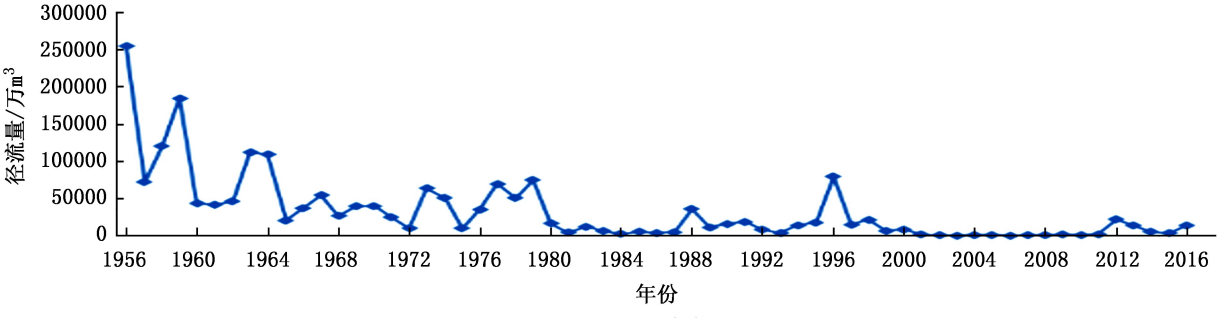
从表 1 可以看出,上述 5 个水文站年径流检验值均为负,并均突破 $\alpha=0.05$ 的临界值(±1.96),表明实测年径流表现为减少显著趋势。



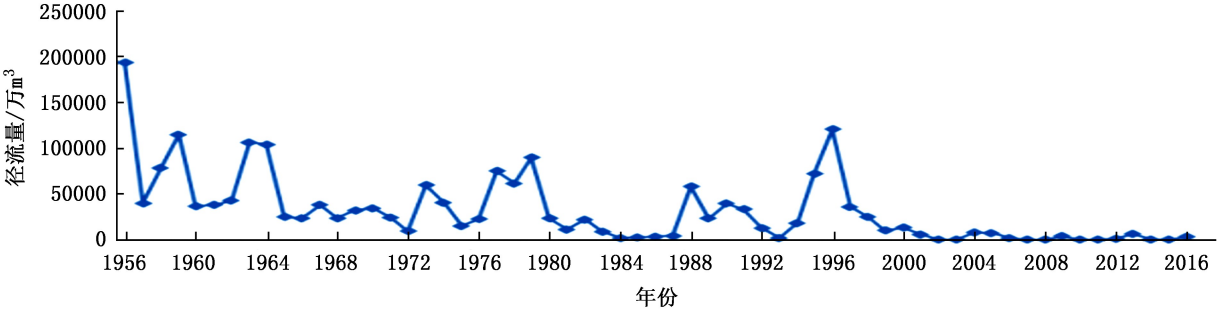
(a)紫荆关水文站



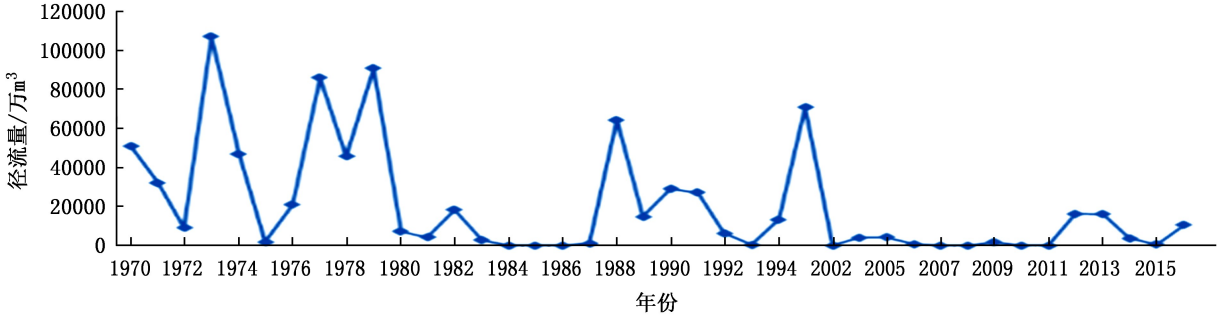
(b)落宝滩水文站



(c)东茨村水文站



(d)北河店水文站



(e)新盖房水文站

图 1　1956—2016 年北支水系水文站年径流量变化趋势

Fig. 1　Variation trend of annual runoff of hydrological station in north branch water system from 1956 to 2016

3.1.2《海河流域综合规划》(1993 年)实施前后年径流量变化

根据《海河流域综合规划(1993 年)》(以下简称规划),大清河流域基本形成了完善的防洪工程体系,以此为节点,将长系列径流资料分为上轮规划实施前(1956—1992 年共 37 a)和上轮规划实施后(1993—2016 年共 24 a)两个阶段,分析规划实施前后上述 5 个水文站年均径流量变化(表 2)。

表 2　规划实施前后各水文站年均径流量变化

Tab. 2　Changes of annual runoff in each hydrological station before and after the implementation of the plan

万m^3

名称	时段		差值	变化率/%
	规划实施前	规划实施后		
紫荆关水文站	21518	3517	18001	83.7
落宝滩水文站	28354	8902	19452	68.6
东茨村水文站	41779	10371	31408	75.2
北河店水文站	42540	13972	28568	67.2
新盖房水文站	29025	8364	20661	71.2

从表 2 可以看出,规划实施后,紫荆关、落宝滩、东茨村、北河店和新盖房水文站年均径流量均大幅减少,该变化趋势与紫荆关、落宝滩、东茨村、北河店 4 个水文站 1956—2016 年共 61 a 及新盖房水文站 1970—2016 年共 47 a 的年径流量变化趋势一致。

3.2 南支水系

南支主流河道唐河、潴龙河上游均建有大型水库,受水库拦蓄作用影响,下游减水河段水文情势有所变化。

3.2.1 径流量年际间变化趋势

选取唐河上游城头会水文站、西大洋水库坝址断面,潴龙河上游王快水库坝址断面、下游北郭村水文站,下游清水河上北新店水文站 5 个断面多年径流数据,分析规划实施后年径流变化趋势(图 2)。

1)1958—2016 年城头会水文站年径流量总体呈下降趋势;1956—2016 年西大洋水库坝址、王快水库坝址、北郭村水文站年径流量呈波动下降趋势;1966—2016 年北辛店水文站年径流量呈波动下降趋势。

2)下游北辛店、北郭村水文站存在断流情况,其中北辛店水文站多个年份年径流量不足 100 m^3,1993 年、1998—1999 年、2001 年、2003—2004 年、2006 年、2011—2012 年、2014 年的年径流量均为 0;北郭村水文站在 1981 年、1984—1987 年、1992—1993 年、1997—1999 年、2001—2003 年、2006—2011 年共计 20 个年份年径流量为 0。

为进一步定量评估上述水文站年径流趋势性变化水平,对西大洋水库坝址、王快水库坝址、北郭村 3 个水文站 1956—2016 年的实测年径流量、城头会水文站 1958—2016 年实测年径流量和北辛店水文站 1966—2016 年实测径流量系列进行 Mann-Kendall 趋势检验(表 3)。

表 3　大清河南支水系各水文站年径流量 M-K 检验

Tab. 3　M-K test results of annual runoff of hydrological station in south branch water system of Daqing River

名称	M-K 统计值	变化趋势
城头会水文站	-9.204	减少显著
西大洋水库坝址水文站	-6.563	减少显著
北辛店水文站	-4.551	减少显著
王快水库坝址水文站	-4.726	减少显著
北郭村水文站	-5.467	减少显著

从表 3 可以看出,上述 5 个水文站年径流检验值均为负,并均突破 $\alpha=0.05$ 的临界值(±1.96),表明实测年径流表现为减少显著趋势。

3.2.2 规划实施前后各水文站年均径流量变化

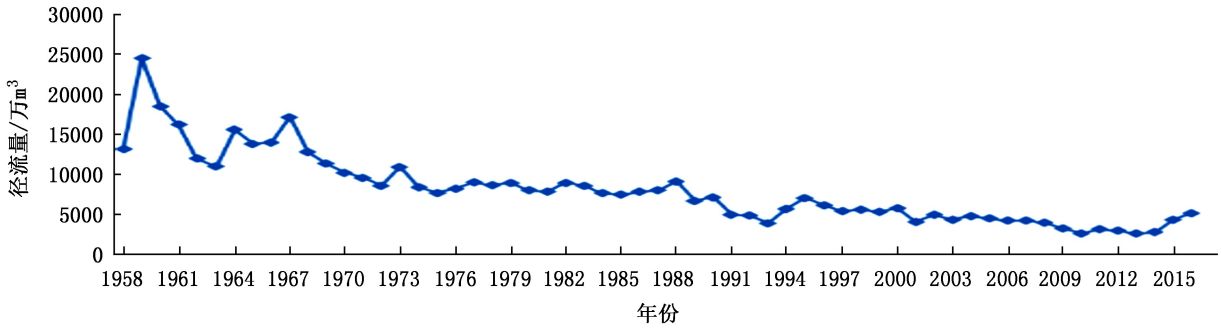
根据《海河流域综合规划(1993 年)》,大清河流域基本形成了完善的防洪工程体系,以此为节点,将长系列径流资料分为上轮规划实施前(1956—1992 年共 37 a)和上轮规划实施后(1993—2016 年共 24 a)两个阶段,分析规划实施前后上述 5 个水文站年均径流量变化(表 4)。

表 4　规划实施前后各水文站年均径流量变化

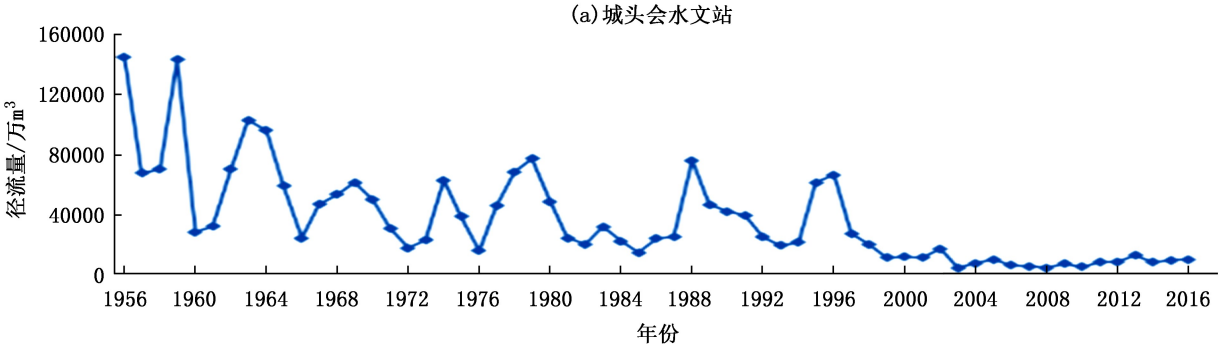
Tab. 4　Changes of annual runoff in each hydrological station before and after the implementation of the plan

万m^3

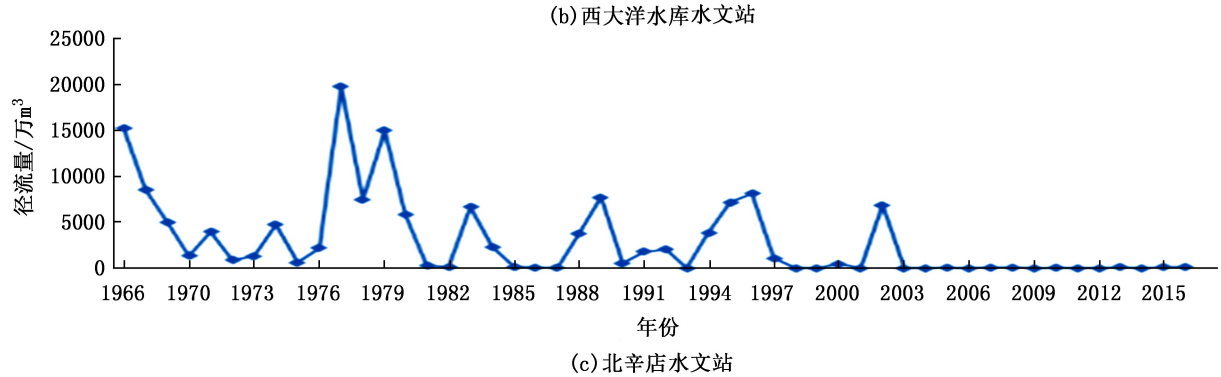
名称	时段		差值	变化率/%
	规划实施前	规划实施后		
城头会水文站	10508	4469	6039	57.5
西大洋水库坝址水文站	50256	15332	34924	69.5
北辛店水文站	4513	1167	3346	74.1
王快水库坝址水文站	66867	29373	37494	56.1
北郭村水文站	47972	3758	44214	92.2



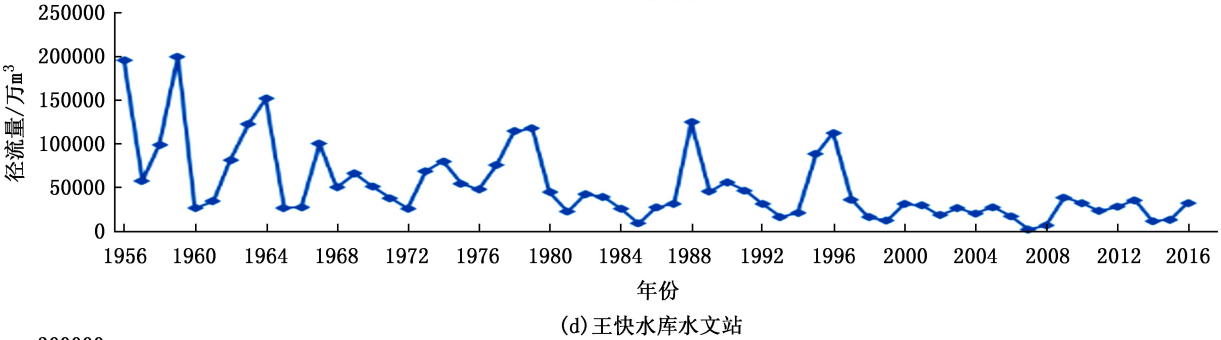
(a)城头会水文站



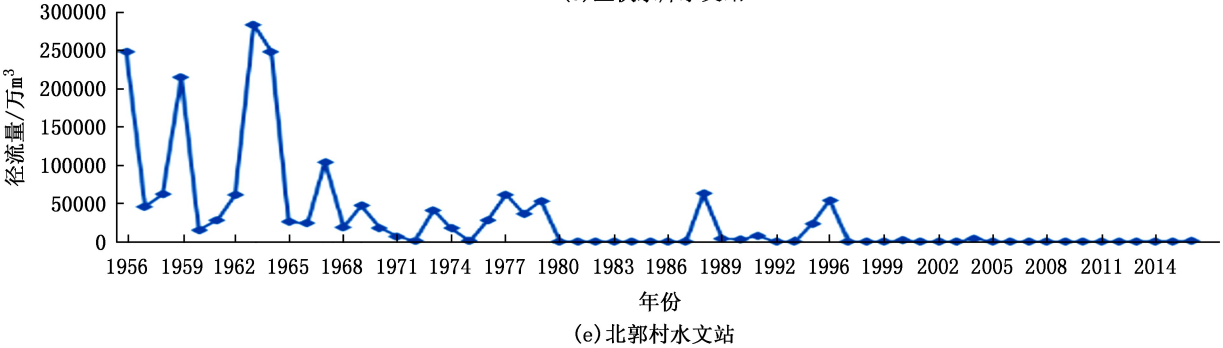
(b)西大洋水库水文站



(c)北辛店水文站



(d)王快水库水文站



(e)北郭村水文站

图 2　1956—2016 年南支水系水文站年径流量变化趋势

Fig. 2　Variation trend of annual runoff of hydrological station in south branch water system from 1956 to 2016

从表 4 可以看出,规划实施后,城头会、西大洋水库坝址、北辛店、王快水库坝址和北郭村水文站年均径流量均大幅减少,该变化趋势与各水文站长系列年径流量变化趋势一致。

3.3 白洋淀下游水系

在海河干流和独流减河入海口分别建有海河闸和独流减河防潮闸以防潮水倒灌。

根据独流减河进洪闸水文站 1955—2012 年实测径流量资料统计,多年平均径流量为 6.09 亿m^3,最大年径流量为 77.89 亿m^3。进入 20 世纪 80 年代后,由于来水偏枯和上游用水量的不断增加,多数年份的径流量为 0,呈干涸状态。

根据白洋淀下接赵王新河的枣林庄闸下断面 1973—2016 年长系列年径流量变化趋势图(图 3)可以看出,多个年份出现断流情况,近 44 年来,枣林庄闸下断面年径流量 M-K 统计值为-2.46,呈显著减少趋势。1993—2016 年枣林庄闸下断面年均径流量为 13 430 万m^3,相比 1973—1993 年间年均径流量减少了 58.5%。

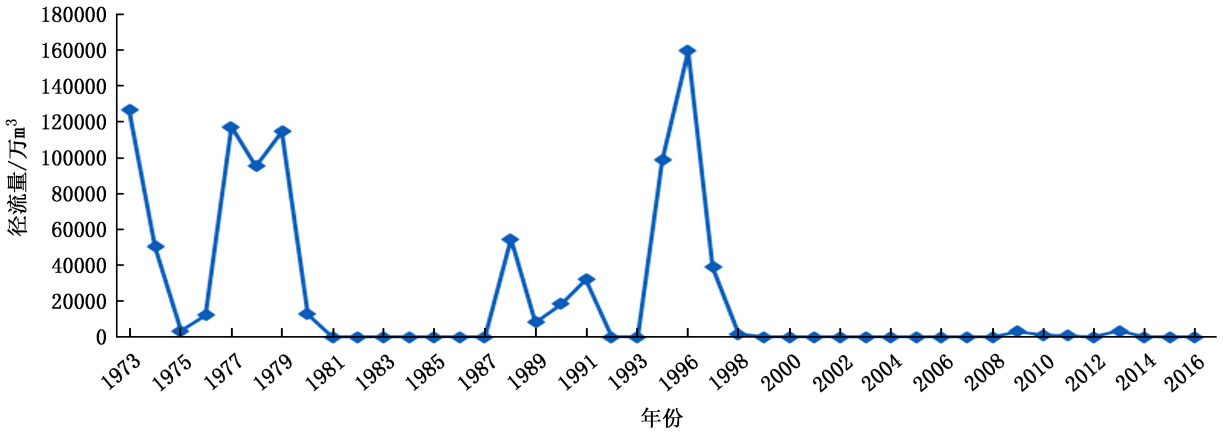


图 3　1973—2016 年枣林庄闸下断面年径流量变化趋势

Fig. 3　Variation trend of annual runoff under Zaolinzhuang gate from 1973 to 2016

4 结　语

大清河系地处海河流域中部,源于太行山东麓,东淀以上分为南、北两支。东淀下游分别经海河干流和独流减河入海。落宝滩、紫荆关、城头会水文站点分别位于大清河北支拒马河、大清河南支唐河上游,不经过灌区且不受大型水库调度控制,相比中下游流域,3 个水文站点径流量受气候变化等自然因素影响较大。大清河南北支中下游站点以及大清河干流下游典型断面在规划实施后多数年份径流量为 0,呈干涸状态。结合白洋淀流域近 54 年的年降雨 M-K 统计值为-1.492,呈弱减少趋势,规划的实施对大清河中下游断面年径流量影响较大。

参考文献:

[1] 黄璐,王鼎,朱文彪,等. 基于 R/S 和 M-K 分析的高良涧闸年径流量变化趋势研究[J]. 江苏水利,2019(11):38-40,45.

[2] 尤卫红,何大明. 澜沧江月径流量变化的相关性和多时间尺度特征[J]. 云南大学学报(自然科学版),2005,27(4):314-322.

[3] 王娇,姜仁贵,解建仓,等. 泾河流域径流量变化特征研究[J]. 水资源与水工程学报,2018(6):88-93.

[4] 刘昌明,田巍,刘小莽,等. 黄河近百年径流量变化分析与认识[J]. 人民黄河,2019,41(10):11-15.

[5] 叶炳效,孟春芳. 卫河水系新乡段年径流量变化趋势分析[J]. 河南水利与南水北调,2020,49(7):29-31.

[6] 李四海. 卫河流域年际径流变化趋势分析[J]. 河南水利与南水北调,2014(16):7-8.

[7] 汤杰,徐建华,陈忠升. 党河山区流域近 50 年径流趋势变化及其突变分析[J]. 中国科技论文在线,2014(1):1-11.

[8] 刘春蓁,刘志雨,谢正辉. 近 50 年海河流域径流的变化趋势研究[J]. 应用气象学报,2004,15(4):385-385.

[9] 邵爱军,左丽琼,王丽君. 气候变化对河北省海河流域径流量的影响[J]. 地理研究,2010(8):1502-1509.

责任编辑:许易琦